

EMC 방법적용을 위한 논 대표 유출률 산정

최동호 · 정재운* · 윤광식† · 진소현 · 최우영** · 최우정 · 김상돈*** · 임병진*** · 최유진****

전남대학교 지역바이오시스템공학과

*한국농어촌공사 농어촌연구원

**한국수자원공사

***국립환경과학원 영산강물환경연구소

****국립환경과학원 수질총량관리센터

Estimation of Representative Runoff Ratio from Paddy Field for the Application of EMC Method

Dongho Choi · Jaewoon Jung* · Kwangsik Yoon† · Sohyun Jin · Wooyoung Choi** · Woojung Choi · Sangdon Kim*** · Byungjin Yim*** · Yujin Choi****

Department of Rural & Bio-systems Engineering, Chonnam National University

(Institute of Agricultural Science & Technology, Chonnam National University)

**Rural Research Institute, Korea Rural Community & Agriculture Corporation*

***Korea Water Resources Corporation*

****Yeongsan River Environment Research Laboratory*

*****National Institute of Environment Research*

(Received 20 July 2010, Revised 5 October 2010, Accepted 6 October 2010)

Abstract

Runoff ratio of paddy fields for the application of Event Mean Concentration (EMC) method was studied. To measure actual runoff ratio of paddy fields, a field monitoring was conducted for 2008 ~ 2009 period. Long-term rainfall data of four cities in major river basins were analyzed and weighting factors were developed to consider temporal and spatial variation of rainfall distribution of Korean peninsula. The observed runoff ratio ranged 0.00 ~ 1.20 and arithmetic mean were 0.25, respectively. However, the representative runoff ratio for paddy fields was determined as 0.41 according to the method suggested by National Institute of Environmental Research (NIER).

keywords : EMC, Paddy field, Representative runoff, Runoff ratio, Weighting factors

1. 서론

비점오염원은 지형, 수리 수문 조건 및 토지이용, 강우특성에 등에 따라 배출특성이 다양하다(경기도보건환경연구원, 2001; 김성수 등, 2002; 신민환 등, 2007). 이러한 비점오염원을 정확하게 파악하기 위해서는 토지이용형태에 따라 관측 자료의 수집과 분석이 필요하다(서지연 등, 2010). 또한, 강우 및 유역의 특성에 영향을 받아 불확실성이 크기 때문에 오염물질별 부하량 및 원단위 산정이 매우 어렵다(이소영 등, 2009). 따라서 환경부에서는 유역관리 및 수질보전을 위한 규제 및 계획 단계에서 필요한 토지계 오염부하량은 가중평균 농도인 Event Mean Concentration (EMC)와 유출률을 이용하여 오염부하량을 산정할 것을 권고하고 있다(국립환경과학원, 2009).

유출률(Runoff ratio)은 강우량에 대한 유출량을 의미하며 이와 비슷한 의미로 유출계수(Runoff coefficient)가 사용되고 있다. 하지만 유출계수는 합리식에서 첨두유출률을 나타내는 것이어서 본 연구에서 다루는 유출률(강우량에 대한 유출량)과는 차이가 있어 적용상 혼선을 가져올 수 있다. 유출은 강우 및 토지피복 특성의 영향을 많이 받기 때문에 미계측유역의 유출량을 추정하기 위해서는 일반적으로 문헌상에 제시된 토지피복별 유출계수를 사용하여 유출량을 추정하고 있다. 도시유역의 경우 미국토목학회에서 제안한 유출계수를 사용하고, 산지, 초지, 경작지 등의 자연하천유역에 대해서는 Schwab(1971)이 추천한 유출계수를 이용하여 유출량을 산정한다. 하지만 문헌상에서 제시하는 유출계수는 첨두홍수량에 대한 유출계수이므로(윤용남, 2007) 실제 유출량보다 과대하게 산정되는 경향이 있다.

국내의 토지피복별 유출률 조사에 관한 연구를 살펴보면, 도시지역의 경우 주차장과 교량지역은 0.64 ~ 0.94, 0.71 ~ 0.92로 나타났으며(김이형과 이선하, 2005), 포장지역(고속

* To whom correspondence should be addressed.

ksyoon@jnu.ac.kr

도로, 주차장, 교량)은 0.57~0.94로 나타났다(이소영 등, 2007; 이은주 등, 2006). 농촌지역의 경우 유출률은 0.02~0.35의 범위로 나타났으며(이병수 등, 2008), 평지밭의 경우 7회에 걸쳐 유출률은 0.18, 고랭지 밭의 경우 0.30으로 나타났다(최용훈 등, 2009). 국외의 경우 Cerdan 등(2004)은 시험포 수준에서 얻은 유출계수를 유역 스케일로 확장하는 것은 매우 어려운 것으로 분석하였다. 또한, 유출계수와 유역의 조건과 관계는 매우 복잡하기 때문에 유출계수는 무작위 변수처럼 취급되어야 한다고 제안하였다. Merz 등(2006)은 유출률을 runoff coefficient로 표현하였으며 오스트리아의 337개의 유역에서 50,000개의 강우 사상을 대상으로 강우사상 유출률의 시공간적 변이에 대한 연구를 수행하였다. 연구결과 공간적 유출률 변화는 토양과 토지 이용보다는 연간 강수량 크기가 유출률에 더 영향을 미친다고 보고하였다. 또한 장마와 같이 강우기간이 긴 경우 유출률이 증가하여 강우 형태 및 선행강우가 유출률에 영향을 크게 미친다고 하였다. 지금까지 수행된 유출률에 관한 연구는 대부분 도시, 밭, 농촌유역에 관한 연구들이며 논에 대한 유출률 산정에 대한 연구는 매우 부족하다. 따라서 미계측 논에서의 유출량을 산정하기 위해서 대부분 하천 설계기준에서 제안한 관개중인 답의 유출계수 0.70~0.80의 값을 사용하고 있다. 하지만 이러한 유출계수 값을 이용하여 유출량을 산정할 경우 유출량이 너무 과대하게 산정되기 때문에 이를 사용하여 오염부하량을 산정할 경우 역시 오염부하량이 과대평가될 위험이 크므로, 논으로부터 유출되는 오염부하량의 정량적 평가와 신뢰성있는 오염부하 원단위를 산정하기 위해서는 장기적인 모니터링을 통한 논 유출률 산정에 관한 연구가 필요한 시점이다.

논은 국토 전체면적의 10.9%(108.4만 ha)를 차지하여 인간의 활동이 이루어지는 단일 토지이용으로써 가장 넓은 면적을 차지하고 있으며, 인위적인 관리가 이루어지는 논의 경우 유출량은 물꼬 높이, 초기 담수심 등에 따라 변이가 큰 특징이 있다(농림부, 2007). 논에서의 부하량에 관

한 많은 연구가 이루어졌지만(윤광식 등, 2002; 윤춘경 등, 2003; 전지홍 등, 2003; 한국현 등, 2005) EMC를 이용하여 논 의 부하량을 산정하기 위한 대표 유출률에 관한 연구는 부족하다. 따라서 본 연구의 목적은 현재 기상조건과 논 물관리 관행하에서 강우와 유출량을 조사하고 강우 유출수 조사방법(국립환경과학원, 2009)에 의거하여 EMC 방법에 적용 가능한 논 유출률을 산정하여, 향후 수질오염총량관리제의 효율적 추진을 위한 기초자료를 제공하는 데 그 목적이 있다.

2. 연구방법

2.1. 시험지구

전라남도 함평군 엄다면 화양리의 논지구(이하 ‘학야지구’, Fig. 1)를 대상으로 2008년부터 2009년까지의 수문모니터링을 실시하였다. 학야지구의 관개용수는 한국농어촌공사 함평지사에서 관리하는 대동저수지(관개면적 992.3 ha, 저수용량 5309천 m³)이다. 학야지구는 동쪽에 함평천이 흐르며 서쪽에는 주 배수로가 위치하며, 유역면적은 13.7 ha이다. 또한 용배수로가 분리되고 접근성이 좋아 관측이 용이한 시험지구이다. 학야지구의 토성은 미사질양토(모래 11.7%, 실트 61.4%, 점토 26.9%)로 조사되었다.

2.2. 강우량 및 수문조사

학야지구의 강우량 자료는 인근 마을회관 옥상에 강우량계(CASELLA, UK)를 설치하여 획득하였고, 수위 자료는 시험지구 배수로 말단에 독일 OTT사의 공기방울 압력식 전자수위계인 Orphimedes 수위데이터 로거(logger)를 설치하여 수위자료를 획득하였다. 유량자료를 확보하기 위해서 강우사상 발생시 현장에 출동하여 유량을 실측하였으며, 미계측 강우사상 유량자료에 대해서는 수위-유량관계식을 이용하여 산정하였다.

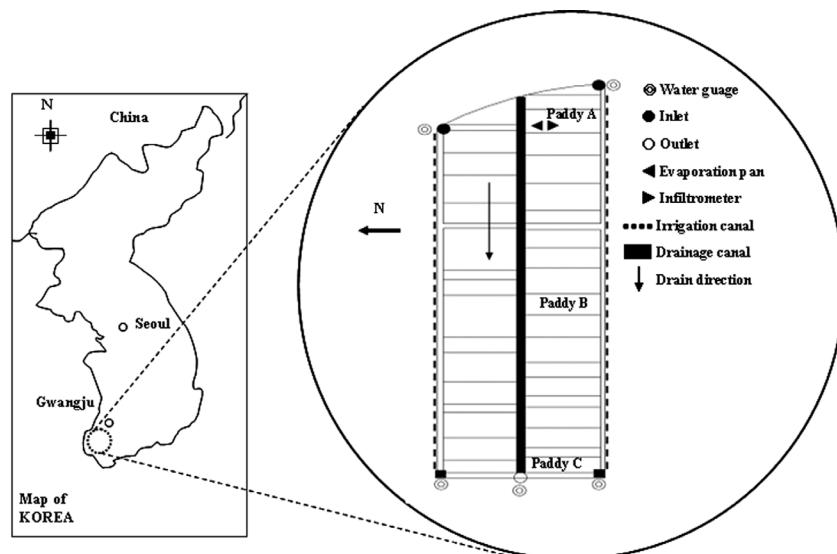


Fig. 1. Location and monitoring system of the study site.

2.3. 유출률 산정

개별 강우사상 유출률(R_x) 산정은 강우유출수 조사방법(국립환경과학원, 2009)에서 제안한 식 (1)과 같이 산정하였고 강우 계급 구분 역시 강우유출수 조사방법에서 제안한 0~10 mm, 10~30 mm, 30~50 mm 구간과 50 mm 이상 구간으로 구분하였다. 개별 강우사상 유출률(R_x)은 식 (1)과 같이 산정한다.

$$R_x = \frac{\text{총 유출량}}{\text{총 강우량}} = \frac{\sum_{i=0}^{T_Q} (Q_i \times t_i) / \sum_{j=0}^{T_Q} t_j / A}{\sum_{j=0}^{T_P} P_j / 1000} \quad (1)$$

여기서, Q_i 는 관측시간 i 에서의 유출 유량(m^3/s), t_i 는 관측시간 $i-1$ 에서 i 까지의 시간(sec), A 는 집수구역면적(m^2), P_j 는 관측시간 $j-1$ 에서 j 까지의 강우량(mm), T_Q 및 T_P 는 각각 총유출지속시간(sec) 및 총강우지속시간(sec)이다.

개별 강우사상 유출률(R_x)을 대상으로 강우계급을 구분하여 강우계급별 유출률(R_y)을 식 (2)와 같이 산정하였다.

$$R_y = \frac{\sum_{k=1}^N (R_{xk})}{N} \quad (2)$$

여기서, R_{xk} 는 강우계급에 해당하는 N 개의 강우사상 중 k 번째 강우사상의 유출률이다.

대표 유출률은 식 (3)과 같이 산정하였다.

$$R_Z = \sum (R_y \times f_y) \quad (3)$$

여기서, R_y 는 계급별 유출률, f_y 는 계급별 강우량비(가중치)이다.

강우량비를 산정하기 위하여 한강 유역의 양평군, 금강 유역의 대전광역시, 낙동강 유역의 대구광역시, 영산강 유역의 광주광역시의 30년 시간별 강우량을 분석하였다. 강

우지속시간이 6시간 이상일 경우 별도의 강우사상으로 구분하였으며 각각 0~10 mm, 10~30 mm, 30~50 mm, 50 mm 이상의 4개 강우계급으로 구분하여 강우계급별 총강우량을 기준으로 강우량비를 산정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 강우량비(가중치)

전국 4개지역(양평군, 대전광역시, 대구광역시, 광주광역시)의 기상청에서 5월부터 9월까지 수집한 30년 강우계급별 강우량 자료는 Table 1과 같다. 수집된 자료를 이용하여 양평군, 대전광역시, 대구광역시, 광주광역시의 강우계급별 강우량과 가중치를 산정한 결과, 대구광역시의 경우 다른 3개지역에 비해 총강우량은 적었으나 계급별 가중치는 비슷했다(Table 1). 30년 강우자료로부터 얻어진 평균 강수량은 양평은 1,119.9 mm, 대전 1,081.2 mm, 대구 823.2 mm, 광주 1,040.6 mm, 전국 1,016.5 mm이었다. 전국 평균 강우계급별 가중치는 0~10 mm, 10~30 mm, 30~50 mm, 50 mm 이상 강우의 강우가중치는 각각 0.07, 0.18, 0.16, 0.59로 나타나 50 mm 이상 강우의 가중치가 가장 크게 나타났다(Table 2).

3.2. 학야지구 실제 유출률

논에서의 실제 유출률을 산정하기 위해 2008년부터 2009년까지 수계오염총량관리기술지침에 따라 강우사상에 따른 강우량과 유출량을 실측하였다. 조사기간동안 강우량은 1,524.6 mm였으며, 직접 유출량은 733.5 mm로 나타났다. 조사기간동안 일 강우량과 일 유출량은 Fig. 2와 같았으며, 유출은 강우의 영향을 받는 것으로 나타났다.

조사기간동안 학야지구의 유출률 분포는 Fig. 3과 같다. 2008년에 비해 2009년의 유출률 분포가 더 크게 나타났으며, 이는 2008년에 비해 2009년의 강우일수와 강우량이 더 많았기 때문인 것으로 판단된다. 학야지구에서 조사된 2008~2009년까지 유출률의 범위는 0.00~1.20이었으며, 산출평균은 0.25로 나타났다. 유출률이 1이상인 이유는 논

Table 1. Rainfall class analysis for major cities in four River basins

(Unit : mm)

	Yangpyeong	Daejeon	Dae-gu	Gwang-ju	Average
0 ~ 10 mm	75.8	75.6	72.0	70.8	73.6
10 ~ 30 mm	166.1	190.7	168.7	192.8	179.8
30 ~ 50 mm	156.4	175.1	160.0	163.0	163.6
> 50 mm	721.6	639.8	422.5	614.0	599.5
Total	1,119.9	1,081.2	823.2	1,040.6	1,016.5

Table 2. Weighting factors for rainfall class

	Yangpyeong	Daejeon	Daegu	Gwangju	Average
0 ~ 10 mm	0.07	0.07	0.09	0.07	0.07
10 ~ 30 mm	0.15	0.18	0.20	0.19	0.18
30 ~ 50 mm	0.14	0.16	0.19	0.16	0.16
> 50 mm	0.64	0.59	0.52	0.58	0.59
Total	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

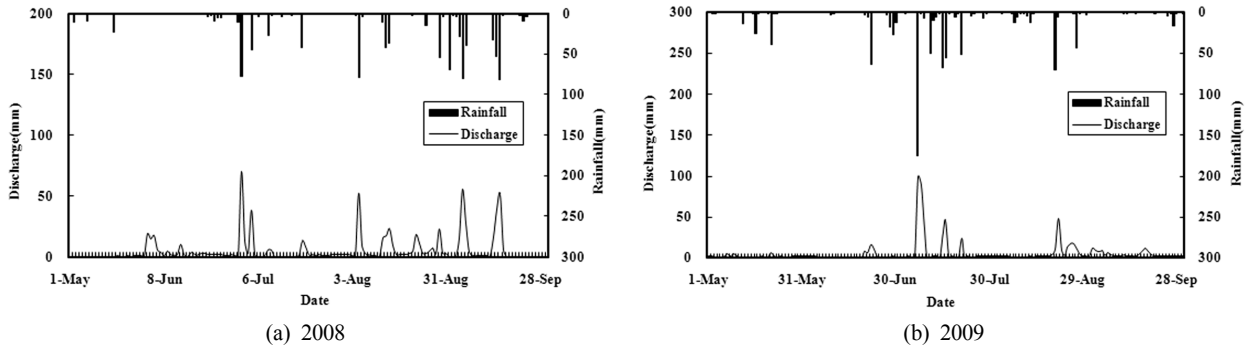


Fig. 2. Daily rainfall and discharge from paddy fields in Hampyung.

Table 3. Observed runoff ratio for different rainfall classes and weighted runoff ratio

Rainfall class	Observed no. of events	Total rainfall (mm)	Total runoff (mm)	Observed Runoff ratio	Weight factor
0 ~ 10 mm	38	101.8	20.7	0.18	0.07
10 ~ 30 mm	12	212.8	32.9	0.15	0.18
30 ~ 50 mm	6	254.2	79.1	0.32	0.16
> 50 mm	11	955.8	600.8	0.55	0.59
Sum	67	1,524.6	733.5	-	1.00
Weighted Runoff ratio	0.41				

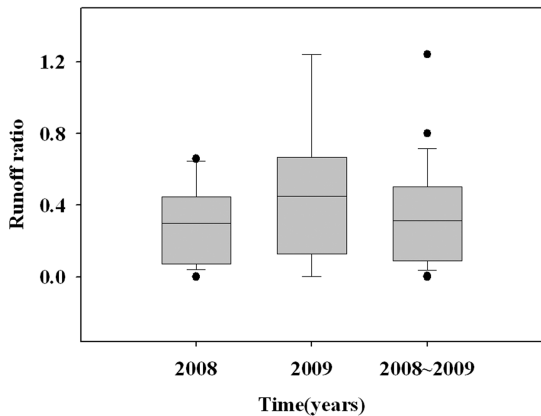


Fig. 3. Observed runoff ratio distribution.

에 관개수가 공급되어 강우시 논에 담수되었던 관개수와 강우유출수가 동시에 유출되었기 때문인 것으로 판단되며, 실제 학야지구에서 관개량을 조사한 결과 2008년과 2009년의 관개량은 각각 1,091.6 mm, 1,002.8 mm로 조사되었다. 조재영 등(2000)은 논에서 낙수기간 중 인위적인 배수 활동, 물관리 부실로 인한 누수 및 유출사상을 제외하고 강우에 의한 유출특성을 조사한 결과, 논에서의 유출률은 관개기간에 0.59~1.36 범위로 나타났고 유출률이 1을 넘는 경우가 있다고 보고하였으며, 이는 본 연구결과와 유사한 결과이다.

3.3. EMC 적용을 위한 대표 유출률

강우계급별 유출률과 가중치 유출률은 Table 3과 같다. 강우계급별 강우횟수와 유출률을 살펴보면 10 mm이하의 강우는 총 38회 발생하였으며, 유출률은 0.18로 조사되었

다. 10 mm 초과 30 mm 이하의 강우는 12회 발생하였고, 유출률은 0.15로 나타났다. 30 mm 초과 50 mm 이하의 강우는 6회 발생하였으며, 유출률은 0.32로 나타났고 50 mm 초과 100 mm 이하의 강우는 11회 발생하였으며, 유출률은 0.55로 나타났다. 10~30 mm 강우계급을 제외한 나머지 강우계급별 유출률은 강우계급이 커질수록 높은 유출률을 보였다. 하지만 10~30 mm 강우계급의 유출률은 0~10 mm 강우계급의 유출률보다 오히려 작게 나타났는데 이는 관측횟수가 작아 10~30 mm 강우계급에 대한 유출특성이 충분히 반영되지 못했기 때문인 것으로 판단되며, 향후 장기적인 모니터링을 통해 10~30 mm 강우계급에 대한 자료를 수집해야 될 것으로 판단된다. 한편, 강우계급별 강우가중치는 각각 0.07, 0.18, 0.16, 0.59로 나타났다. Table 3에서 제시된 실측 유출률과 Table 2에서 제시된 강우계급별 강우가중치를 식 (3)에 적용하여 양평군, 대전, 대구, 광주광역시의 대표 논 유출률을 산정한 결과 양평군의 대표 논 유출률은 0.43, 대전, 대구, 광주광역시의 대표 논 유출률 각각 0.41, 0.39, 0.41로 나타났고 전국 유출률은 0.41으로 산정되었다.

4. 결론

논 유역은 많은 저류가 이루어지며, 물꼬놀이, 초기담수심 등 인위적인 물관리 조작과 배수고와 배수로에서 지체 정도에 따라 유출특성이 결정된다고 볼 수 있다. 본 연구에서는 논에서의 EMC 방법 적용을 위한 대표유출률을 산정하기 위하여 영산강 수계의 학야지구를 대상으로 2008년부터 2009년까지 모니터링을 실시하였다. 조사기간동안 논에서의 유출률은 0.00~1.20의 범위를 보였고, 산술평균은 0.25로 나타났다. 이는 조사된 강우사상 중 유출이 낮은 10

mm 이하의 강우사상의 숫자가 상대적으로 많기 때문이다.

실측자료와 국립환경과학원에서 제안한 강우유출수 조사 방법을 이용하여 논 유역의 강우계급별 유출률을 산정하였다. 조사된 자료를 이용하여 양평군, 대전광역시, 대구광역시, 광주광역시의 논 대표 유출률을 산정한 결과 각각 0.43, 0.41, 0.39, 0.41로 나타났고 전국 유출률은 0.41으로 나타났다. 이상의 연구결과는 미세측 논 유역의 오염부하량을 산정하거나 효율적 수질오염총량관리제 적용에 활용될 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 2009년 영산강·섬진강수계 환경기초조사사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 경기도보건환경연구원(2001). *비점오염원 관리방안*.
- 국립환경과학원(2009). *강우유출수 조사방법*.
- 김성수, 김종석, 방기연, 권은미, 정옥진(2002). 경안천 유역의 강우사상별 비점오염원 유출특성 및 원단위 조사. *대한환경공학회지*, **24**(11), pp. 2,019-2,027.
- 김이형, 이선하(2005). 주차장 및 교량지역의 강우유출수내 비점오염물질의 특성 비교 및 동적 EMCs. *수질보전 한국물환경학회지*, **21**(3), pp. 248-255.
- 농림부(2007). *농업생산기반정비사업통계연보*.
- 서지연, 신민환, 원철희, 최용훈, 정명숙, 임경재, 최종대(2010). 가평광산 지역의 비점오염물질 유출특성. *수질보전 한국물환경학회지*, **26**(3), pp. 474-481.
- 신민환, 신용철, 허성구, 임경재, 최종대(2007). 농업 및 산림유역의 강우유출수 유량가중평균농도 분석. *한국농공학회 논문집*, **49**(6), pp. 3-9.
- 윤광식, 한국현, 조재영, 최창현, 손재권, 최진규(2002). 양수장 지구 광역논으로부터 영농기간 영양물질의 유출 및 물질수지. *농촌계획*, **8**(1), pp. 3-14.
- 윤용남(2007). *수문학*, 청문각.
- 윤춘경, 황하선, 전지홍, 함종화(2003). 수도재배시 논에서의 영양물질 수지 분석. *한국육수학회지*, **36**(1), pp. 66-73.
- 이병수, 정용준, 박무중, 길경익(2008). 경안천 유역 농촌지역의 비점오염원 배출 특성에 관한 연구. *수질보전 한국물환경학회지*, **24**(2), pp. 169-173.
- 이소영, 이은주, 김철민, 손현근, Marla C. M., 김이형(2007). 누적강우량을 고려한 포장지역 비점오염물질 유출량 평가. *공동추계 학술발표회 논문집*, 대한상하수도학회·한국물환경학회, pp. C-148-153.
- 이소영, Marla C. Maniquiz, 최지연, 김이형(2009). 교통관련 토지이용에서의 강우계급별 EMC 산정. *한국습지학회지*, **11**(2), pp. 67-76.
- 이은주, 고석오, 강희만, 이주광, 이병식, 임경호, 김이형(2006). 포장지역에서의 강우사상별 EMC 산정 및 단순 샘플농도와의 비교. *수질보전 한국물환경학회지*, **22**(1), pp. 104-109.
- 전지홍, 윤춘경, 황하선, 윤광식(2003). 논에서의 오염부하 예측을 위한 범용모형 개발. *한국육수학회지*, **36**(3), pp. 344-355.
- 조재영, 한강완, 최진규, 손재권(2000). 논에서 강우에 의한 질소와 인산의 유출특성. *한국농화학회지*, **43**(4), pp. 285-290.
- 최용훈, 원철희, 서지연, 신민환, 양희정, 임경재, 최종대(2009). 평지밭과 고랭지밭의 비점오염에 대한 분석과 비교. *수질보전 한국물환경학회지*, **25**(5), pp. 682-688.
- 한국현, 김진호, 이종식, 이정택, 조재영, 윤광식(2005). 강우시 채수빈도가 논 오염부하량 산정에 미치는 영향. *한국환경농학회지*, **24**(1), pp. 17-23.
- Cerdan, O., Le Bissonnais, Y., Govers, G., Leconte, V., van Oost, K., Couturier, A., King, C., and Dubreuil, N. (2004). Scale effects on runoff from experimental plots to catchments in agricultural areas in Normandy. *J. Hydrol.*, **299**, pp. 4-14.
- Merz, R., Bloshp, G., and Parajka, J. (2006). Spatio - temporal variability of event runoff coefficients. *Journal of Hydrology*, **331**, pp. 591-604.
- Schwab, G. O., Feeveet, R. K., Barnes, K. K., and Edminster, T. W. (1971). Elementary soil and water engineering. *Soil Science*, **84**(5), pp. 425.