

점토질 롬 밭과 논이 비점오염원 부하량 평가

Evaluation of NPS Pollutant Loads from Clayey Loam Fields

최 중 대* · 권 순 국** · 권 기 석***

Joong-Dae Choi · Soon-Kuk Kwun · Gi-Seok Kwon

Abstract

NPS pollutant loads from sandy clayey and clayey loam runoff plots were measured. Runoff plots were 2×10 m in size and 8~10% in slope and paddy area was 4,620 m². Soybean, corn, tobacco and control (natural weed) were cultured. Precipitation during the growing season of June to October, 2002 was 869.5 mm. Runoff and water quality were measured more than 10 times during the measurements depending on the growing stage. Pollutants loads were estimated by using respective concentration and runoff volume. Runoff occurred when daily rainfall exceeded about 30 mm. The largest runoff was observed from the paddy but pollutant loads were larger from upland crops than those from paddy. SS loads from paddy and upland were 1.4 ton/ha/yr and 3.1~4.3 ton/ha/yr, respectively. COD loads 30 kg/ha/yr and 66~90 kg/ha/yr, T-N loads 13 kg/ha/yr and 14~23 kg/ha/yr, T-P loads 1 kg/ha/yr와 4 kg/ha/yr, nitrate nitrogen loads 1 kg/ha/yr and 4~8 kg/ha/yr, and phosphate phosphorus loads 0 kg/ha/yr and 4~6 kg/ha/yr, respectively. It was concluded that NPS pollutant loads from upland crop culture have greater impact on the quality of the receiving water body than those from paddy culture.

Keywords : NPS, Runoff plot, Clayey loam field, Pollutant loading, Water quality

I. 서 론

농업부문에서 발생하는 비점오염원은 수계의 수질에 많은 영향을 주는 것으로 평가받고 있다. 우

리나라의 경지면적은 2002년 현재 1,862,622 ha이며 이중 논이 1,138,408ha (61.1%) 그리고 밭이 724,214 ha (38.9%)이다 (KNSO, 2003). 환경부 국립환경연구원에서 제정한 토지계 지목별 연평균발생부하원단위(NIER, 2002)는 논과 밭에서 각각 BOD는 1.59 kg/km²와 2.30 kg/km², T-N은 9.44 kg/km²와 6.56 kg/km², 그리고 T-P는 0.24 kg/km²와 0.61 kg/km²이다. 우리나라 수계의 부영양화 한계영양물질이 총인임을 감안해 볼 때, 밭에서 발생하는 총인부하가 면적은 논보다 작을지라도 수질

* 강원대학교 농업생명과학대학 농업공학부
** 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부
*** 안동대학교 생명자원과학부 생물자원환경학전공
* Corresponding author. Tel.: +82-33-250-6464
Fax: +82-33-251-1518
E-mail address: jdchoi@kangwon.ac.kr

에 미치는 영향이 클 수 있음을 의미한다. 단일작목(벼)을 담수재배하는 논에서 오염물질의 배출원리, 배출경로 및 배출량은 비교적 단순할 수 있다. 그러나 밭은 지역에 따라 토성, 재배작물, 재배방법, 경지의 경사도와 경사장, 비료와 농약의 사용량, 강우량 등이 다양하므로 밭에서 배출되는 오염물질의 배출원리, 배출경로 및 배출량은 시간과 지역에 따라 매우 큰 편차를 보인다 (Gale et al., 1993).

논에서의 비점오염배출량은 최근에 소수의 연구자에 의해서 광역논에서의 오염부하 원단위(Oh et al., 2002), 논에서 영양물질 배출량 추정(Kim et al., 2002; Kim and Chung., 2002), 관개논에서의 영양물질 추정모델 개발(Seo et al., 2002) 등이 연구되었다. 농업유역이나 농촌소유역의 비점오염원의 배출특성을 조사하기 위하여 유역과 수질의 모니터링, 지하수와 하천수의 수질비교 등에 관한 연구를 통하여 지하수와 하천수의 수질은 밀접한 관계가 있다고 밝혀졌다(Choi et al., 1999; Choi et al., 2001; Choi, and Yang, 2002) 또한 관개논과 산림유역의 홍수유출 특성 비교(Im et al., 2002), 수질모니터링과 원단위법을 이용한 농업소유역의 오염부하량 추정(Kim et al., 2003) 및 농촌유역 하천의 수질예측을 위한 SWAT 모형과 WASP 모형의 연계운영(Kwun et al., 2003) 등의 수질 모니터링과 모델링을 조합한 연구도 수행되었다. 그러나 밭에서 비점오염원 배출특성에 관한 연구는 논과는 달리 소수의 제한된 연구자에 의해 강원도 고령지 지역의 사질토 지역에서 감자, 옥수수 등의 작물 재배시 토사유출과 관련된 연구가 일부 있다(Yun et al., 1999; Choi et al., 2000; Joo et al., 2000; Choi et al., 2000; Choi et al., 1998; Choi et al., 1997; Choi et al., 1995).

밭의 비점오염원 배출량을 이해하기 위해서는 다양한 토성, 경사 및 경사장, 작물, 강우조건 등 비점오염물질의 배출에 영향을 줄 수 있는 인자들을

변환하며 수행한 많은 실측자료가 필요하다. 따라서 본 연구는 사질 점토톱과 점토질 톱 논과 밭에서 비점오염물질의 배출특성을 조사하기 위하여 수행되었다. 본 연구의 결과는 동일한 토성을 갖는 논과 밭에서의 비점오염부하량을 예측하고 수계의 수질관리에 필요한 비점오염원 배출량을 평가하는데 효과적으로 사용될 수 있다.

II. 재료 및 방법

유출시험포는 경상북도 안동시 임동면 갈전2리 임하댐 계획홍수위선 직상류에 위치한 토지를 임대하여 6개를 설치하였다. 유출시험포의 토성은 점토질 톱이었으며 경사도는 8~10% 이었다. 유출시험포에는 임하댐 홍수조절용지에서 가장 많이 재배하는 대표작물인 콩, 옥수수, 담배와 자생적으로 발생한 바랭이(대조구)를 재배하며 비점오염물질의 배출특성을 조사하고 오염발생원단위를 산정하였다. 콩과 옥수수는 2회 반복 실험이며 담배 및 대조구는 반복없이 실험하였다. 논 시험포는 유출시험포 인근에 위치하는 기존의 논을 대상으로 오염배출량을 조사하였다. 논 시험포의 면적은 4,620 m²이었다.

유출시험포는 6개이며 각각은 가로 2 m, 세로 10 m 크기로 설치하였다. 시험포는 베니어판을 30 cm 폭으로 절단하여 15 cm는 땅속으로 묻고 15 cm는 지상으로 나오게 하여 경계를 설정하였다. 시험포의 하단부에는 유출수를 모집할 수 있도록 도랑(gutter)을 설치하고 1톤 용량의 물통을 설치하여 지표수 유출량, 유사량 및 수질을 측정하였다. 시험포는 5월 30일 완성되었고 6월 3일 옥수수, 콩 및 담배를 파종하였다. 그러나 콩은 파종시기가 늦고 가뭄으로 발아가 거의 되지 않아 6월 13일 기 파종된 밭에서 체장 약 5 cm의 모종을 이양하였다. 옥수수는 가뭄으로 일부만 발아가 되었으며 발아가 되지 않은 곳에는 6월 13일 재파종하였다. 담배는 파종시기가 많이 늦었기 때문에 기 파종된 밭에서 체장 약 30 cm 정도되는 모종을 구입하여

Table 1 Management practices for the crops in the runoff plots

Crop	Management practices
Soybean (plot 1, 2)	June 2: Applied BB fertilizer June 3: Seeding June 3: Applied herbicides June 13: Soybean seeded in June 3 did not germinated due to drought. And soybean seedlings of about 5 cm in height were transplanted. Sept. 12: Applied pesticide Sept. 30: Harvest
Control (plot 3)	No fertilizer and pesticide were used Natural establishment of Crab Grass(<i>Digitaria sanguinalis</i> Scop.) was induced
Corn (plot 4, 5)	June 2: Applied 3 kg of BB fertilizer June 3: Applied herbicides June 10: Applied pesticides June 13: Corn seeded in June 3 did not evenly germinated due to drought. And partial re-seeding was made June 23: Applied pesticides June 23: Applied compound fertilizer and granular urea August 10: Applied pesticide September 20: harvest
Tobacco (plot 6)	June 3: Applied herbicides June 13: Applied compound fertilizer June 13: Tobacco seedlings of about 30 cm in height were transplanted July 8: Applied pesticide July 13: Applied pesticides September 10: Harvest

이양하였다. 대조구의 바랭이는 자생적으로 발생하여 성장하도록 방치하였으며 농약과 비료는 사용하지 않았다. 밭 시험포의 관리일지는 Table 1에 요약하였다. 유출시험포의 비료와 농약은 농촌진흥청 권장시비량을 사용하였으며 논외의 경우에도 권장 시비량 및 제초제와 살충·살균제를 다소 사용하였다.

유출시험포의 유출량은 강우시 유출이 발생할 때 마다 시험포의 하단에 설치된 수거물통에 저류된 양을 계량하여 측정하였다. 유출수의 수질은 유출이 종료된 후 물통에 저류된 유출수를 완전히 교란시키고 수질시료를 채취하여 안동대학교에서 분석하였다. 밭시험포 수질은 12회 분석하였다. 논 시험포의 유출수질도 벼의 성장단계별로 19회 채취하여 분석하였다. 밭과 논 수질분석일지는 Table 2와 같다. 시험포의 토양샘플을 채취하여 화학성을

Table 2 Date of runoff and water quality measurement

Runoff plot		Paddy plot measurement date
Date	Rainfall (mm)	
07-06	41.5	06-21, 07-01 07-11, 07-06 07-08, 07-14 07-19, 07-21 07-31, 08-06 08-07, 08-08 08-09, 08-10 08-11, 08-13 08-17, 08-20 09-02
07-08	29.5	
07-14	38.0	
07-19	36.0	
08-07	22.5	
08-08	165.0	
08-09	79.0	
08-10	111.5	
08-11	23.5	
08-13	56.5	
08-17	56.0	
09-02	155.0	

분석하였다. 토양과 수질샘플은 환경부 제정 공정 시험방법과 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater(18th ed.)에 규정된 절차에 따라 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

강우자료는 시험포에서 약 12 km 떨어진 길안 자동측후소의 자료를 사용하였다(Fig. 1). 유출시험포가 완성된 6월초부터 작물의 수확이 완료된 9월말까지 길안측후소의 강우량은 869.5 mm이었다. 6월과 9월에는 강우강도와 강우량이 크지 않아 유출이 발생하지 않았다. 유출은 7월과 8월에 일강

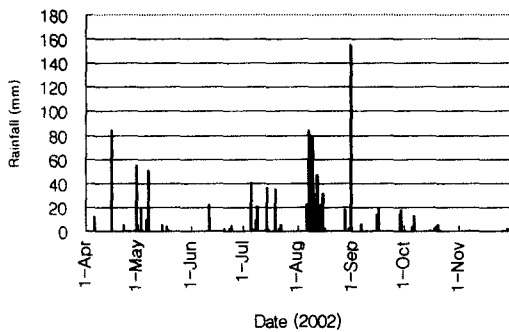


Fig. 1 Daily rainfall distribution at the Gil-an automated weather station which is about 12 km away from the runoff plots

우량이 약 25 mm 정도 이상일 때 주로 발생하였다. 이는 토성이 점토질 톱이거나 점토성분이 많은 사질톱으로 침투능이 낮아 비교적 작은 비에도 유출이 발생하였다. 일강우량이 100 mm 정도되어야 유출이 발생하는 강원도 고랭지 사질토 밭과는 유출량에서 많은 차이를 보였다(Choi et al., 2003). 시험포에서 20 km 정도 떨어진 안동대학교 옥상에서 채취한 강우수의 수질분석결과는 Table 3과 같다.

유출시험포와 논 시험포의 토성은 사질점토 톱과 점토질 톱이었다. 논 의 표토심은 1 m 이상으로 깊었으나 밭의 표토두께는 약 30~60 cm 정도에 불과하고 그 이하는 풍화암, 연암 그리고 암반과쇄대가 출현하였다. 시험포 토양의 비중은 2.61~2.62로 측정되었다. 시험포 유역의 논, 밭의 토양특성을 알아보기 위한 토양의 일반분석결과는 Table 4와 같다. 논과 밭의 토양화학성은 많은 차이를 보였다. 논 의 유기물 함량과 COD는 밭보다 다소 많게 측정된 반면 PO₄-P, NH₄-N, NO₃-N, SO₄ 항목은 밭에서 높게 측정되었다. 특히, 총질소(T-N)의 함량은 콩밭에서 가장 높게 나타나 콩과 작물이 대기 중의 질소를 고정하여 토양에 축적하는 것으로 생각되었다. 재배작물별 밭의 유기물, PO₄-P, SO₄, COD 함량은 큰 차이가 없었으나 NH₄-N와 NO₃-N의 함량은 큰 차이를 보였다.

Table 3 Average rain water quality results collected on the roof of An-dong National University. Ten rain samples were collected and analyzed from June through September, 2003

Statistics	Rainfall (mm)	SS (mg/l)	Turbidity (NTU)	COD (mg/l)	T-N (mg/l)
Range	18-161	0-4	0.1-7.3	0.4-2.3	0.013-3.155
Mean	58.4	1.1	2.11	1.16	1.257
S.D.	49.34	1.2	2.19	0.52	0.978
Statistics	T-P (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	PO ₄ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻ (mg/l)
Range	0.004-0.217	ND	0.279-2.241	ND	ND-5.51
Mean	0.099	ND	1.301	ND	1.926
S.D.	0.063	ND	0.581	ND	1.199

* S.D. and ND stand for standard deviation and not detected, respectively.

Table 4 Soil test results of the runoff plots

Location	OM (%)	PO ₄ -P (mg/kg)	NH ₄ -N (mg/kg)	NO ₃ -N (mg/kg)	T-N (%)	T-P (mg/kg)	SO ₄ (mg/kg)	COD (mg/kg)
Paddy	2.7	0.66	11.81	4.72	0.091	596.8	131	43,323
Soybean	2.4	6.18	60.13	23.77	0.140	1,952.2	151	38,301
Tobacco	2.4	5.59	33.41	17.12	0.097	2,083.0	150	37,776
Corn	2.3	6.85	83.56	31.33	0.105	2,076.2	152	38,781
Control	2.2	7.33	24.23	9.69	0.100	1,419.3	177	35,167

유출시험포 토양의 경우 일강우량이 25 mm 내외까지는 토양저류와 침투로 유출이 발생하지 않았으나 30 mm 이상의 강우에서는 유출이 발생하였다. 길안축후소의 일최고온도, 일최저온도, 이슬점 온도, 풍속, albedo(반사율), 해발표고, 위도, 일사량 등의 기상자료와 FAO Penman-Monteith 공식(Allen et al., 1998)을 사용하여 산정한 유출시험포 작물의 일평균증발산량은 콩 3.1 mm/d(6월 13일-10월 20일), 옥수수 3.5 mm/d(6월 3일-9월 3일), 담배 2.9 mm/d(6월 13일-9월 25일), 잡초 3.4 mm/d(6월 1일-10월 31일)이었다.

물수지 분석결과 대조구의 토양침투 및 저류량은 작물재배지에 비하여 1.5 내지 2.5배 큰 반면 유출률은 0.3 내지 0.5배 작게 나타났다. 이는 잡초가 무성하게 자라는 대조구에서는 강우수의 토양침투 및 저류량이 크기 때문에 유출이 작게 나타나는 반면, 작물을 재배하는 경작지에서는 그 반대 현상이 나타나는 것을 의미한다. 경작지에서 비점오염물질의 생산과 운반은 지표유출과 밀접한 관계가 있기 때문에 유출율이 높은 경작지에서는 보다 많은 오염물질을 배출할 수 있음을 의미한다. 대조구에서 토양침투 및 저류량은 가장 크고 유출계수는 가장 작게 나타났다. 본 연구에서의 콩 유출시험포는 옥수수나 담배 시험포에 비하여 지표카바(canopy)가 크고 재배관리상 담배나 옥수수보다는 지표의 다짐이 작아 토양침투 및 저류량이 상대적으로 크게 나타났다. 유출율은 작게 나타난 것으로 판단된다(Table 5).

Table 5 Comparison of soil detention and runoff coefficient between crops

Crop	Soil detention (mm)	Runoff coefficient (%)
Soybean	30.5	37.5
Corn	17.8	53.2
Tobacco	25.9	42.4
Control	44.6	18.4

유출시험포와 논에서 배출되는 비점오염물질의 양은 지표수를 통해 배출되는 오염물질의 양으로 제한하였다. 이는 연구가 수행된 밭 시험포의 표토심이 매우 낮고 풍화암과 암반파쇄대가 나타났고 논인 경우는 일평균 침투심이 0.2 mm/d로 매우 작았고 표토심이 깊었기 때문에 지하수로 침투하는 지표수와 오염물질의 양이 지표로 배출되는 양에 비하여 상대적으로 작았을 것으로 예상하였기 때문이다. 오염항목별 오염배출량은 작물 성장단계별로 10회 이상 측정된 유출수량에 농도를 곱하여 산정하였다. 또한 오염항목별 오염배출량을 단위면적(ha) 당 배출량으로 환산하여 원단위오염배출량을 산정하였다. 재배작물별 오염배출은 작물이 재배되는 기간에만 발생하는 것으로 가정하였으며 그 외의 기간에는 오염배출이 없는 것으로 가정하여 원단위오염배출량을 산정하였다. 유출량을 비롯한 측정항목별 오염부하원단위는 Table 6에 정리하였다. 본 연구에서 산정된 토지이용별 오염부하량이나 원단위오염배출량은 본 연구의 유출시험포의 토양, 재배관행, 경사도 및 시험포의 규모, 그리고 2002

Table 6 Annual runoff (mm) and nonpoint source pollutant loads (kg/ha) from sandy clayey loam and clayey loam runoff plots with respect to different crops

Item	Paddy	Soybean	Corn	Tobacco	Control
Runoff (mm)	591	405	566	464	200
SS	137.99	3,169.1	4,277.1	3,245.7	24.9
COD	30.31	80.46	90.5	66.62	2.08
T-N	13.39	18.68	22.8	13.78	0.40
T-P	1.06	3.70	4.1	4.03	0.15
NH ₄ ⁺ -N	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
NO ₃ -N	1.11	7.78	4.2	4.49	0.08
PO ₄ -P	0.0009	4.32	5.6	5.87	0.22
SO ₄ -S	5.30	15.77	6.3	7.86	0.46

년 강우조건에 많은 영향을 받았다. 또한 소규모 유출시험포에서 실험으로 구한 원단위오염배출량은 규모가 큰 경작지에서의 원단위오염배출량과는 다를 수 있다. 따라서 본 실험결과를 다른 토지이용에 적용할 때는 세심한 주의가 필요하다.

재배작물별 연유출량은 벼, 콩, 옥수수, 담배, 대조구(바랭이)가 각각 591, 405, 566, 464, 200 mm로 산정되었다. 유출량은 논에서 가장 높았고, 옥수수, 담배, 콩 및 대조구의 순으로 유출이 발생하였다. 벼를 비롯한 작물재배지의 유출량이 나대지에서 자생적으로 성장한 대조구의 유출량보다 월등히 많았다. 토양이 경운 등으로 교란되지 않으며 장기간 동안 잡초나 수목이 자라는 경우, 강우수의 토양침투량은 지속적으로 증가하고 반대로 유출량은 감소한다.

부유물질(SS)의 연부하량(kg/ha)은 밭 시험포 작물에서 비교적 높게 나타났으며 대조구에서는 매우 낮게 나타났다. 일반적인 관점에서 허용토양유실량을 표토 1 mm로 가정할 경우 토성에 따라 12 ton/ha 내외의 유사부하가 발생한다. 본 연구에서는 밭 작물에서 3~4 ton/ha 정도, 논에서는 0.14 ton/ha 정도 발생한 반면 대조구에서는 거의 유사

가 발생하지 않았다.

화학적산소요구량(COD)은 논보다 밭에서 2~3배 많이 발생하였으며 대조구에서 최소로 발생하였다. 총질소(T-N)은 논과 담배 시험포에서 비슷하게 발생한 반면 콩과 옥수수에서는 다소 많이 발생하였다. 총인(T-P)은 논보다 밭에서 3~4배 많이 발생하였다. 대조구에서의 T-N 과 T-P 발생량은 매우 작게 나타났다. 모든 시험포에서 암모니아성 질소(NH₄⁺-N)는 발생하지 않았다. 이는 암모니아성 질소가 빠르게 질산화작용을 받아 질산성 질소(NO₃-N)로 변환되었기 때문으로 생각된다. 질산성 질소(NO₃-N)도 논보다는 밭 작물에서 월등히 높게 발생하였다. 특히 수계의 부영양화에 직접적인 영향이 있는 인산(PO₄-P)의 발생이 논에 비해 밭에서 많이 발생되고 있었다. 모든 오염측정항목에서 논은 밭에 비하여 오염배출량이 작아 밭보다 논이 수계의 수질에 미치는 영향이 작은 것으로 나타났다. 밭의 비점오염원 부하량이 논보다 큰 원인의 하나는 논과 밭 토양의 화학적 특성에서 차이가 있기 때문인 것으로 생각된다. 논은 밭에 비하여 유기물 함량이 높았고 따라서 논의 COD 함량도 밭보다는 다소 높게 나타났다. 이는 논은 환원상태로 있기 때문에 토양속의 유기물이 빠르게 산화되지 못하고 분해속도가 늦기 때문인 것으로 생각된다. 반면에 산화상태에 있는 밭에서는 유기물의 분해가 빨라 유기물과 COD의 함량이 작은 반면 무기형태의 영양분이 논에 비해 매우 높게 나타났다. 이들 영양분이 강우시 유출수에 용해되거나 혹은 유실되는 토립자에 흡착되어 배출되기 때문에 밭에서의 비점오염원 부하량이 논에 비해 높게 나타나는 것으로 판단된다.

IV. 요약 및 결론

사질점토 롬과 점토질 롬 지역의 밭과 논에서 배출되는 유출량과 비점오염물질을 경북 안동시 임동면 갈전리에서 유출시험포 실험을 통하여 산정하였

다. 밭 재배작물은 옥수수, 콩, 담배이었으며 대조구에서는 자연적으로 발생한 야생 바랭이이었다. 유출과 수질의 측정은 작물의 성장단계별로 10회 이상 측정하였으며 오염원별 원단위오염부하량은 오염물질농도에 유출량을 곱하여 산정하여 단위면적당 부하량으로 환산하였다. 2002년 6월부터 9월까지 작물생육기간동안 유출시험포 지역의 강우량은 869.5 mm로 연평균강수량에 비하여 다소 작은 강우를 보였다. 점토성분이 많은 토양으로 밭에서의 유출현상은 강우량이 30 mm/d 정도에서 나타났다.

유출량은 논에서 가장 많이 배출되었으나 오염부하량은 논보다 밭에서 많이 발생하였다. 대조구에서의 오염발생량은 논과 밭에 비하여 매우 작게 나타났다. 논과 밭의 SS 부하는 각각 1.4 ton/ha/yr와 3.1~4.3 ton/ha/yr, COD 부하는 30 kg/ha/yr와 66~90 kg/ha/yr, T-N 부하는 13 kg/ha/yr와 14~23 kg/ha/yr, T-P 부하는 1 kg/ha/yr와 4 kg/ha/yr, 질산성 질소는 1 kg/ha/yr와 4~8 kg/ha/yr, 인산은 0 kg/ha/yr와 4~6 kg/ha/yr 등으로 조사되었다. 밭이 논에 비해 비점오염원 부하량이 많아 수질에 미치는 영향이 크기 때문에 최적영농관리방법의 도입 등 밭의 친환경적인 영농관리가 시급히 필요하다.

References

1. Choi, J. D., C. M. Lee and Y. H. Choi. 1999. Effect of land use on the water quality of small agricultural watersheds in Kangwon-do. *Journal of Korea Water Resources Association* Vol. 32(4): 501-510. (in Korean)
2. Choi, J. D., S. O. Jang, B. Y. Choi and S. H. Ryu. 2000. Monitoring study on groundwater quality of an alluvial plane in the North Han River Basin. *Journal of Korean Society on Water Quality* Vol. 16(3): 283-294. (in Korean)
3. Choi, J. D. and J. E. Yang. 2002. Assessment of NPS Loadings from Rural Watersheds with Respect to Land Use. *Journal of Korean Society on Water Quality* Vol. 18(1) : 47-55.
4. Choi, J. D., P. J. Sung, J. J. Kim, J. E. Yang, Y. S. Jung and S. Y. Yun. 2000. Soil Quality Assessment for Environmentally sound agriculture in the mountainous soils - Analysis of sediment data and suggestion of best management practices-. *Korean Journal of Environmental Agriculture* Vol. 9(3) : 201-205. (in Korean)
5. Choi, J. D., J. J. Kim, J. E. Yang, J. C. Cheong and S. Y. Yun. 1998. Soil quality assessment for environmentally sound agriculture in the mountainous soils - Physical properties of the soil and collection of sediment data. *Journal of Korean Society of Agricultural Engineers* Vol. 40(4): 85-93. (in Korean)
6. Choi, J. D., J. J. Kim and J. C. Cheong. 1997. Soil quality assessment for environmentally sound agriculture in the mountainous soils - Installation of monitoring system and background data collection-. *Journal of Korean Society of Agricultural Engineers* Vol. 39(2): 113-123. (in Korean)
7. Choi, J. D., Y. H. Choi and K. S. Kim. 1995. Characteristics of runoff and groundwater quality from a pasture and field. *Journal of Korean Association of Hydrological Sciences* Vol. 28(3): pp.175-186. (in Korean)
8. Choi, J. D., Y. H. Choi and H. H. Sim. 2003. Use of Sediment Trap to Control Sediment from Alpine Fields. *Proceedings of the 2003 Annual Conference of the Korean Society of Agricultural Engineers* p. 571-574. Oct. 31~ Nov. 1, 2003, Jeju, Korea. (in Korean)
9. Choi, K. J., J. D. Choi, K. J. Lim and B. A. Engel. 2001. Nonpoint pollution potential

- assessment in Soyang-dam watershed. Korea Committee on Irrigation and Drainage Journal Vol. 8(2): 239-246.
10. Gale, J. A., D. E. Line, D. L. Osmond, S. W. Coffey, J. Spooner, J. A. Arnold, T. J. Hoban, and R. C. Wimberley. 1993. Evaluation of the Experimental Rural Clean Water Program. National Water Quality Evaluation Project, NCSU Water Quality Group, Biological and Agricultural Engineering Department, North Carolina State University, Raleigh, NC, USA, EPA-841-R-93-005.
 11. Im, S. J., S. W. Park and M. S. Kang. 2002. A comparative study of storm runoff characteristics for irrigated paddy fields and forest watershed. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* Vol. 44(3): 65-72. (in Korean)
 12. Joo, J. H., J. E. Yang, J. J. Kim, Y. S. Jung, J. D. Choi, S. Y. Yun and K. S. Ryu. 2000. Assessment of soil aggregates and erodibility under different management practices in the mountainous soils. *The Journal of Korean Society of Soil Science and Fertilizer* Vol. 33(2):61-69.
 13. Kim, H. S., S. O. Chung, J. S. Kim and S. Y. Oh. 2002. Prediction of nutrient loading from paddy fields (II) - model application. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* Vol. 44(5): 106-115. (in Korean)
 14. Kim, H. S., S. O. Chung. 2002. Prediction of nutrient loading from paddy fields (I) - model development. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* Vol. 44(4): 51-61. (in Korean)
 15. Kim, S. M., S. M. Kang and S. W. Park. 2003. Estimation of pollutant loadings from agricultural small watershed using the unit loading factor and water quality monitoring. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* Vol. 45(3): 94-102. (in Korean)
 16. KNSO (Korea National Statistical Office). 2003. Crop land data. <http://www.nso.go.kr>. Accessed 5 Oct. 2002. (in Korean)
 17. Kwun, M. J., S. K. Kwun and S. G. Hong. 2003. Conjunctive use of SWAT and WASP models for the water quality prediction in a rural watershed. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* Vol. 45(2) : 116-125. (in Korean)
 18. NIER (National Institute of Environmental Research). 2002. Technical Guidelines for Total Maximum Daily Load of Watershed. Government Publication Registration No. 11-148038-000148-01. (in Korean)
 19. Oh, S. Y., J. S. Kim, K. S. Kim, S. J. Kim and G. G. Yoon. 2002. Unit loads of pollutants in a paddy fields area with large-scaled plots during irrigation seasons. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* Vol. 44(2): 136-147. (in Korean)
 20. Seo, C. S., S. W. Park, S. J. Im, K. S. Yoon, S. M. Kim, M. S. Kang. 2002. Development of CREAMS-PADDY model for simulating pollutants from irrigated paddies. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* Vol. 44(3): 146-156. (in Korean)
 21. Yun, S. Y., J. J. Kim, J. W. Yang, Y. S. Jung and J. D. Choi. 1999. Effect of different cropping system and soil management on soil chemical and microbiological quality assessment in the Daekwanryung upland soil. *The Journal of Korean Society of Soil Science and Fertilizer* Vol. 32(3): 312-318. (in Korean)