



역새 재배지에서의 강우 유출수 수질 특성 분석

Environmental Aspect of Runoff Water from Miscanthus Production Field

홍성구*[†] · 박성직* · 강구*

Hong, Seong Gu · Park, Seong Jik · Kang, Ku

ABSTRACT

Miscanthus is one of the promising energy crops for producing bioethanol or bioenergy in many countries. A field of about 180 ha for miscanthus plantation was started for demonstration near Geum River in 2011. Since the size of the field is much larger than those of traditional cultivation for one single crop in this country, questions were raised if there are any environmental impacts from the energy crop plantation, particularly on water quality. In this study, water quality of runoff water from three different plots was analyzed for assessing the impacts of energy crop production. The results showed that there were no substantial differences among the plots; control, the first, and the second year growth fields. The concentrations of COD, T-N, and T-P were lower than those in runoff water from agricultural crop fields. The second year field showed a slight higher values of COD and T-N concentrations due to the biodegradation of residue of miscanthus which was not cultivated for observation. Commercial planation of miscanthus in a large scale would not result in a water quality problem when avoiding application of fertilizer as practiced in agricultural crop fields.

Keywords: Energy crop; Water quality; Runoff water; Miscanthus

1. 서 론

세계 각국에서는 온실가스 배출량을 줄이기 위하여 여러 가지 재생에너지를 개발하고, 그 이용을 확대하고 있다. 그 가운데 바이오에너지는 석유를 대체할 수 있는 가장 유망한 분야로 평가되고 있다. 바이오에너지는 열과 전력을 생산할 수 있을 뿐만 아니라 가솔린이나 디젤 등의 액체 연료를 대체 할 수 있기 때문이다. 이를 위해서는 바이오매스를 대량으로 생산할 수 있어야 하며, 바이오작물을 재배하는 과정에서 환경에 영향을 미치지 않도록 하는 것이 중요하다. 바이오작물에는 단년생 작물로서 유채나 사탕무우 등이 있으며, 이들은 매년 파종 등의 작업이 요구되거나 다년생 초본류 바이오작물은 매년 파종 등의 작업이 요구되지 않아 온실가스 배출저감 효과가 더 크다.

바이오에너지 작물로서 미국과 유럽에서 대량재배가 시도되고 그 활용에 대한 연구가 활발한 종은 우리나라를 포함하여 동아시아가 원산인 역새이다. 역새속 식물에는 17개 종이 존재

하며 참역새 (*Miscanthus sinensis*)와 물역새 (*Miscanthus sacchariflorus*), 그리고 이들의 중간 교잡종은 바이오에너지용으로서 매우 중요한 특징을 가진다 (Moon et al., 2010). 이들은 연간 바이오매스 수량이 매우 높고 저온이나 염해, 습해 등 환경이 열악한 조건에서도 잘 자라며 땅속 줄기에 다량의 탄소를 저장하는 능력이 우수한 것으로 평가되고 있다. 유럽과 미국 등에서는 3배체 역새를 도입하여 연료용 펠릿, 열병합발전, 건축자재나 바이오 플라스틱 생산 등을 위한 원료로 활용한다. 국내에서도 2009년 거대역새 1호를 개발하였으며 최근에는 시범 재배를 위한 단지가 조성되어 다양한 연구가 진행되고 있다.

역새와 같은 초본 바이오매스는 가스화나 소각에 의한 열 또는 발전이 가능하여 석탄을 대체할 수 있으며, 당화·발효에 의한 바이오에탄올 생산, 건축자재나 종이 또는 바이오플라스틱 등을 생산하는데 이용이 가능하다. 이러한 활용을 위해서는 대규모 재배가 필수적이다. 대규모 바이오작물 재배단지는 단일 작물을 대상으로 하기 때문에 수질, 토양, 생물종 변화, 생태계 교란 가능성 등의 환경영향을 고려하여야 하며, 경제성을 확보하기 위해서는 수확과 저장 및 운반 등의 여러 가지 요소를 충분히 고려하여야 한다.

본 연구에서는 역새 재배단지에서 수질환경과 관련된 요인에 대해 조사하고, 향후 역새를 재배하는 경우 수질환경 영향을 최소화할 수 있는 방안을 제시하고자 하였다. 비교적 제한된 조건

* 한경대학교 농업생명과학대학 지역자원시스템공학과

† Corresponding author Tel.: +82-31-670-5134

Fax: +82-31-670-5139

E-mail: bb9@hknu.ac.kr

2013년 9월 24일 투고

2013년 10월 14일 심사완료

2013년 10월 22일 게재확정

에서 현장 조사를 실시하였으나, 기존의 해외 연구결과와 비교를 통해 국내에서의 조사 결과를 분석하고 수질환경영향에 대해 기술하였다. 향후 국내에서도 바이오에너지 자원으로서 뿐만 아니라 다양한 용도로서 가치가 매우 높은 역새 재배단지를 조성할 때 참고할 수 있을 것이다.

II. 초본류 바이오작물 재배지의 수질환경 영향

대표적인 다년생 초본 바이오작물에는 역새와 스위치그라스가 있다. 이들 재배지에서는 대체로 수질 등의 환경에 부정적인 영향을 미치지 않는 것으로 보고되고 있다 (Smeets et al., 2009; Murphy et al., 2013). 단, 바이오매스 생산량을 늘리기 위해 비료 사용이나 농약 살포가 이루어지는 경우 이들이 강우 유출수와 함께 인접 수계 등으로 유입되는 경우도 있으나, 농작물 재배지에 비해 사용량이 많지 않아 상대적으로 그 영향은 적다고 할 수 있다. Smeets et al. (2009)에 의하면 토양 유실이 단지 조성 단계와 같이 식생 피복이 거의 없는 시기에 주로 발생하나, 빠른 생장으로 인해 2년차에는 지표면이 식생으로 덮이고 토양

유실이 방지된다고 한다. 장기적으로도 다년생 작물 재배지에서는 매년 경운과 파종 등의 작업이 이루어지므로 다년생 초본 바이오작물에 비해 토양 유실량이 많게 된다.

Love and Nejadhashemi (2011)은 미국 미시간 주에서 바이오에너지 작물을 대규모로 재배하는 경우 수질영향에 대해 SWAT 모형을 이용하여 평가한 바 있다. 그 결과 바이오에너지 작물을 재배함으로써 전통적인 줄뿌림 작물 재배지에 비해 유사량, 질소, 인 등의 부하량이 상대적으로 낮게 나타났다. 특히 바이오에너지 작물 재배지에서의 총인 부하량은 현저히 감소하게 된다. 단 농업생산성이 떨어지는 한계농지 가운데 특히 토양 중 질소 농도가 높은 지역에서 바이오작물을 재배하는 것은 유의할 필요가 있다.

Smith et al. (2013)은 미국 일리노이주에서 옥수수 재배지에서 역새 등의 바이오에너지 작물을 재배하는 경우 질산성 질소 유출 부하량이 현저히 감소하는 것을 보고하였다. 질소질 비료를 다량으로 사용하는 옥수수 재배지에서는 질산성 질소와 온실가스 중의 하나인 N₂O의 유실이 많은데, 역새 등을 재배하면 2년차 이후에는 질산성 질소의 부하량이 크게 낮아지는 것을 확인

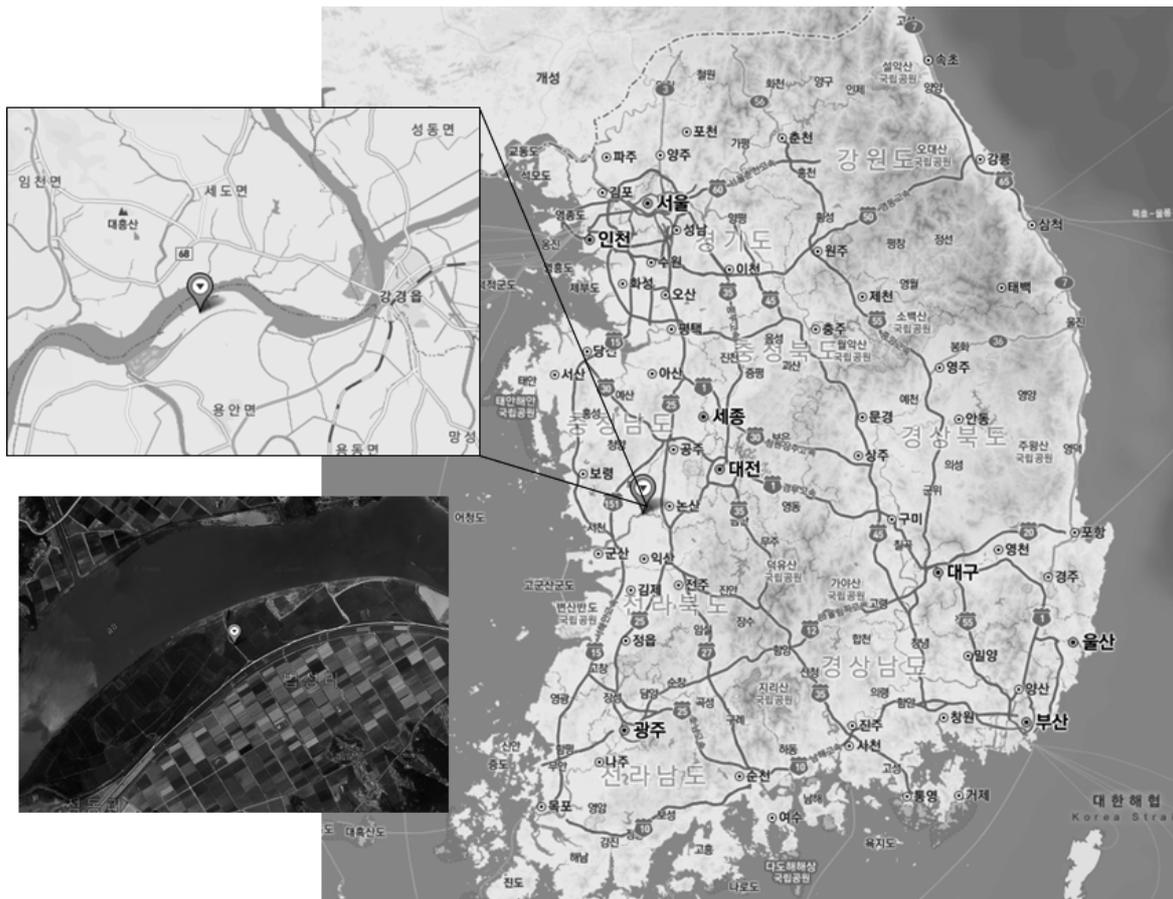


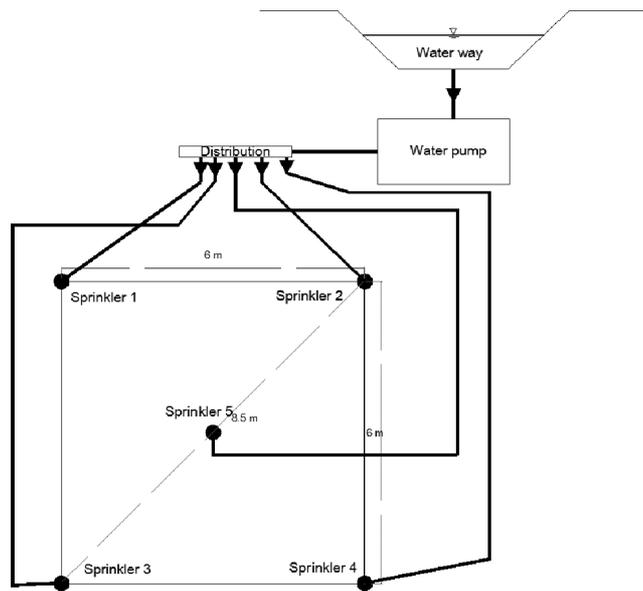
Fig. 1 Location of demonstration field for Miscanthus cultivation

하였다. Wu and Liu (2012) 또한 미국 아이오와 주에서 바이오 에너지 작물 재배와 수확 방식에 따른 수질변화를 조사하였다. 셀룰로오스 기반 에탄올 생산을 위해 옥수수대를 보다 많이 수확하는 경우 유사량이 크게 증가하나 질산성 질소 부하량은 다소 10 % 이내로 감소하는 것으로 나타났다. 반면 옥수수를 재배할 때에 비해 억새나 스위치그라스를 재배하게 되면 유사량을 현저히 줄일 수 있으나, 야생 초지 대비 바이오작물을 재배하게 되면 질산성 질소 부하량이 다소 증가하는 것으로 보고하였다.

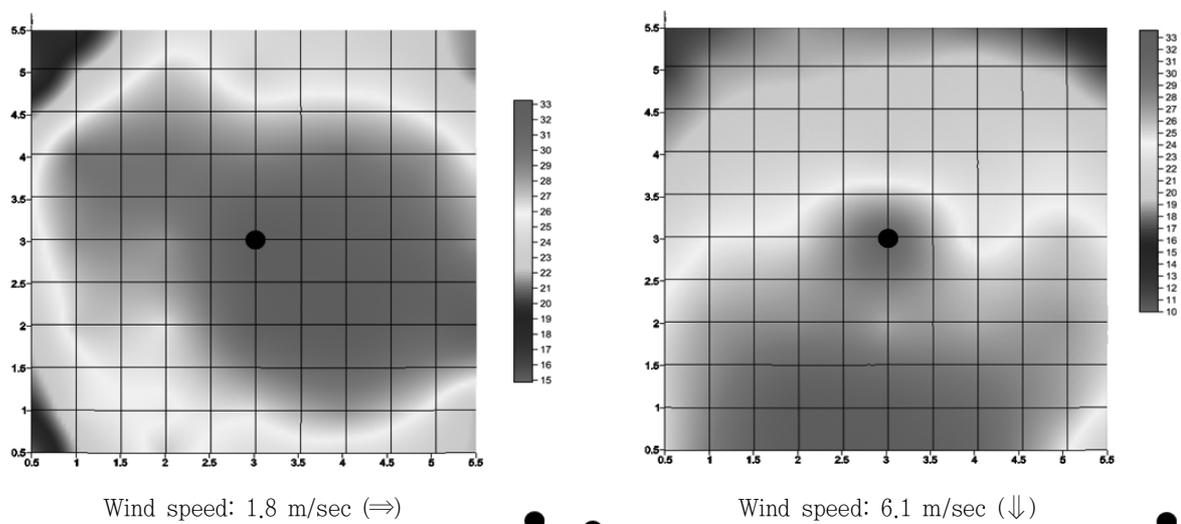
III. 조사 및 분석 방법

1. 억새재배 단지

억새재배에 따른 수질환경영향 조사는 농촌진흥청에서 2011년부터 전북 익산시 금강 하천부지에 조성한 대규모 거대억새 재배단지를 대상으로 하였다. 재식된 억새는 물억새 (*Miscanthus sacchariflorus*)의 한 종류로서 “거대억새 1호”로 명명된 바 있



(a) Layout of rainfall simulator



(b) Rainfall distribution for artificial rainfall simulator

Fig. 2 Layout and Rainfall distribution of Rainfall Simulator for Runoff Sampling

다. 1년차에는 10ha를, 2012년 2년차에는 약 400만본의 억새 묘를 정식하여 바이오작물로서 억새의 생산 및 활용을 위한 연구가 진행되고 있는 단지이다. 조사 대상 억새재배 단지의 위치는 Fig. 1과 같다. 조사 대상 단지는 과거 오랫동안 벼를 재배하던 곳으로서, 4대강 사업이 진행되면서 보상후 국유지로 편입되었다. 금강 수질에 영향을 미치지 않도록 억새 재배과정에서 비료나 농약을 살포하지 않았으며, 정식 초기에 잡초에 의한 영향을 최소화할 수 있도록 억새 묘의 정식은 비닐 멀칭 작업으로 이루어졌다. 1년 후에는 멀칭을 제거하였으며 이후 억새의 성장은 정상적으로 이루어져 왕성한 생육을 보였다.

2. 시료채취 및 분석

가. 조사 시기 및 시료채취 지점

토양 및 수질시료에 대한 조사는 용안지구 내 거대억새 재배단지의 1년생, 2년생 거대억새 재배지와 이를 비교하기 위하여 인근 유희농경지에 대하여 진행하였다. 먼저 재배지와 유희농경지 토양의 화학적 현황을 알아보하고자 1년생, 2년생, 유희농경지 토양을 토양채취기로 채취하였고, 토양시료의 채취 시기는 강우에 의한 토양양분의 손실을 최소화하기 위하여 건기 (2013년 4월)에 실시하였다.

수질시료의 경우 토양시료와 동일하게 1년생, 2년생 거대억새 재배단지와 유희농경지의 강우 유출수를 채취하였다. 강우유출수 시료는 인공강우장치에 의한 유출수 1회, 그리고 자연강우에 의한 유출수 3회 채취하여 분석하였다.

나. 시료채취 방법

토양시료는 대상필지별로 가로 30 cm, 세로 30 cm 크기로 지점별로 2회씩 표층토양을 채취한 다음 폴리에틸렌 봉지에 넣어 운반, 풍건 후 2 mm 체를 통과시켜 분석에 사용하였다. 강우 유출수 시료는 인공강우 장치에 의한 채취와 자연강우에 의한 채취 2가지로 이루어졌다. 일정 면적에서 발생하는 강우 유출수 시료 채취를 위하여 인공강우 장치를 사용하였으며, 넓은 포장에서 배출되는 시료는 자연강우 조건에서 채취하였다. 인공강우장치는 Fig. 2 (a)와 같이 스프링클러와 양수기 (Daishin, SCR-80HXC, Korea)로 구성되었으며, 양수기가 연결된 무동력 스프링클러를 1.5 m 높이, 6 m×6 m의 정사각형 형태로 설치하고 면과 면이 만나는 가운데 지점에 스프링클러를 추가하여 총 5개를 설치하였다. 인공강우장치 시험가동으로 가로, 세로 각 0.5~1 m 간격으로 집수용 캔을 배치하여 자연환경에서의 인공강우장치를 테스트한 결과 바람에 의한 강우낙하지점의 변동이 심하였지만, 평균적인 강우강도를 확인한 바, 약 25 mm/h로 나타났다 (Fig. 2 (b)). 인공강우 살수에 필요한 물은 포장에 인접한 수로 내 물을

취수하여 이용하였으며, 수질분석을 위해 별도로 채취하여 별도의 시료 용기에 보관하였다. 인공강우장치를 이용하여 채취된 시료는 1년생, 2년생, 유희농경지 포장에서 인공강우를 약 1시간 동안 발생시켜서 토양표층에서 유출된 시료를 폴리에틸렌 용기 (1 L)에 약 500 ml 채수하고 Icebox에 보관, 실험실로 운반 후 냉장 보관하였다. 자연강우시 시료 채취는 대조구, 1년생 포장, 그리고 2년생 포장의 말단부에서 폴리에틸렌 용기에 약 1 L 채수하여 Icebox에 보관, 실험실로 운반 후 냉장 보관하였다.

다. 분석 방법

토양시료중 입도분석은 한경대학교 공동실험실습관의 입도분석기 (Microtrac, Bluewave S5396, USA)를 이용하여 분석하였고, pH와 EC측정은 토양과 증류수의 비율을 1 : 5로 희석·교반한 현탁액을 pH/EC 측정기 (Sevenmulti S40, Mettler Toledo, Switzerland)로 측정하였다. 토양의 염기치환용량은 1-N NH₄OAc에 의한 침출 후 ICP-MS (Agilent 7500 Series, USA)를 이용하여 분석하였다. 풍건 토양시료 1 g에 HClO₄ 20 ml를 넣고 분해 후 그 용액을 여과 후 희석하여 수질오염공정시험방법에 따라서 발색하여 UV Spectrophotometer (Mecasys, Optizen POP QX, Korea)로 총질소와 총인 분석을 수행하였다. 수질시료의 pH, EC, SS는 수질오염공정시험법에 준하여 분석 수행하였고, 화학적산소요구량 (COD_{cr}), T-N, T-P는 수질오염공정시험방법에 따라서 발색하여 UV Spectrophotometer (Mecasys, Optizen POP QX, Korea)로 분석하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 조사 지역 토양 특성

억새 재배지 토양 특성을 파악하기 위하여 시료분석을 통해 얻어진 결과는 Table 1과 같다. 실트질 성분이 가장 많고 점토질 성분이 가장 낮았다. CEC는 6 cmol/kg보다 약간 낮은 범위를 가지며, 전기전도도는 대조구 및 1년차 재배지 토양에서는 55 mS/cm, 2년차 재배지 토양은 약 35 mS/cm로 나타났다. Hur et al. (1997)에 의하면 우리나라 사질담 토양의 A층 모래

Table 1 Soil characteristics in the *Miscanthus* production fields

Field	Particle Size (%)			CEC (cmol/kg)	pH	EC (mS/cm)	T-N (mg/kg)	T-P (mg/kg)
	Sand	Slit	Clay					
Control	38.34	60.33	2.03	6.07	6.39	55.63	14.79	0.35
1 Year	38.87	59.43	1.70	5.58	6.09	55.80	13.60	0.36
2 Year	28.97	68.69	2.34	5.72	5.64	35.80	12.41	0.50

Table 2 Concentrations of major water quality constituents

Sample Time	Field	pH	EC (mS/cm)	SS (mg/L)	CODcr (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
June 19	Control	7.58±0.103	13.70±0.583	138.89±13.47	78.00±4.236	2.57±0.000	1.53±0.048
	1 Year	7.80±0.059	10.03±0.621	85.56±22.761	21.70±4.306	0.38±0.067	0.15±0.199
	2 Year	7.90±0.178	12.28±2.128	97.78±35.952	55.10±1.474	1.24±0.134	0.77±0.207
July 23	Control	6.72±0.028	47.65±0.354	0.03±0.000	11.90±0.990	1.75±0.033	0.15±0.002
	1 Year	6.77±0.431	29.40±0.282	0.11±0.197	7.60±1.560	0.65±0.235	0.14±0.001
	2 Year	6.56±0.092	58.40±0.565	0.03±0.019	43.80±0.580	2.60±0.167	0.14±0.000
July 30	Control	6.89±0.008	0.01±0.000	0.04±0.003	23.95±0.212	3.12±0.168	0.58±0.132
	1 Year	6.27±0.007	0.01±0.000	0.01±0.006	73.15±1.060	3.50±0.100	0.76±0.013
	2 Year	6.85±0.020	0.01±0.000	0.01±0.000	22.00±0.989	1.70±0.033	0.47±0.003
August 5	Control	7.28±0.008	0.15±0.000	0.01±0.000	30.85±2.050	1.84±0.235	0.61±0.077
	1 Year	6.97±0.008	0.07±0.000	0.01±0.000	24.40±1.272	1.96±0.470	0.67±0.185
	2 Year	7.00±0.007	0.09±0.000	0.07±0.010	53.05±1.202	3.88±0.168	0.75±0.068

함량은 해안 지역에서 32 % 수준이고 내륙 지역에서는 60 % 이상으로 분포하는 것으로 보고한 바 있다. CEC는 7~9 cmol/kg, pH는 5.6~6.8의 분포를 가지며, 질소나 인의 함량은 토양의 시비조건에 따라 크게 변하는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 조사된 지역의 토양은 하천 하류측에서 발견되는 일반적인 토양 특성으로 평가할 수 있다.

2. 역사재배에 따른 유출수 수질 특성

가. 강수 조건

수질분석을 위한 시료는 인공강우에 의한 채취 1회, 자연강우에 의한 채취 3회로 총 4회에 걸쳐 이루어졌다. 인공강우 유출수 시료채취 당일에는 강우가 없었으나 전날 총 137 mm의 강우가 있어 바닥이 많이 젖어 있는 상태였다. 자연강우 시 시료채취는 7월 23일, 7월 30일, 그리고 8월 5일 각각 이루어졌으며, 역사 재배단지에 인접한 기상청 양화 측정의 자료에 의하면 당일 강수량은 각각 64 mm, 18 mm, 4 mm이다.

나. 수질 분석 결과

1) 인공강우 유출수

인공강우 조건에서 일정 면적으로부터 배출되는 유출수 중 항목별 수질 농도를 살펴보면 대체로 대조구가 높게 나타났다. 대조구는 별도의 작물을 재배하지 않아 약간의 자연 식생이 성장하고 있는 상태였으나, 1년차와 2년차 역사 재배지는 역사의 성장으로 인해 피복 상태가 양호했기 때문으로 판단된다. COD, SS, T-N, T-P 모든 항목에 있어서 대조구가 역사 재배지에 비해 높게 나타났다. 1년차와 2년차 식생포장을 비교하면 2년차 포장에서 다소 높게 나타났다. 본 연구에서 확보된 2년차 포장

에는 전년도에 성장하였으나 수확하지 않은 역사가 그대로 방치되어 신규로 성장하고 있는 역사와 혼재되어 있었다. 따라서 전년도 미수확 역사 잔재물은 시간이 지남에 따라 자연 분해과정을 거치면서 COD와 수질 항목에 영향을 미칠 수 있는 성분이 배출되는 것으로 판단된다. 7월 29일 시료 채취과정에서 1년차 포장에 비해 2년차 포장에서 배출되는 유출수가 육안으로는 더 맑고 깨끗하였으나 실제 분석결과는 2년차 포장의 유출수의 농도가 대체로 더 높았다. pH와 EC는 포장 별 차이가 약간 있었으나, COD나 SS에 비해 큰 차이는 보이지 않았다.

2) 자연강우 유출수

자연강우에 의한 유출수 시료채취는, 7월 23일 강우가 종료되는 즈음의 1차, 그리고 7월 30일과 8월 5일은 강우 사상 중간에 이루어졌다. 강우 유출수 중 수질항목의 농도는 유출수가 발생하는 초기에 높고 이후부터는 시간이 경과함에 따라 감소하는 경향을 가지므로 이에 대한 고려가 필요하나, 본 연구에서는 동일한 강우 및 시간 조건 하에서 역사 재배 조건에 따른 영향만을 파악하고자 하였다. 자연강우 조건에서 채취된 시료에 대해서 시간의 구분 없이 비교하면, 대조구와 연차별 역사 재배지에서의 수질 항목별 농도의 차이는 뚜렷하지 않은 것으로 보인다. 앞서 언급한 바와 같이 2년차 재배지에서는 전년도에 성장하여 그대로 방치된 역사가 자연 분해과정에 의해 강우 유출수에 의해 유기물과 질소 성분이 씻겨 나와 해당 항목별 농도가 약간 높게 나타나는 것으로 보인다. 7월 30일 1년차 포장에서 채취된 시료는 다른 시기 및 다른 포장에서 채취된 시료에 비해서 SS를 제외한 COD, T-N, T-P 농도가 다소 높게 나타났다. 그럼에도 불구하고 시료채취 시기나 포장 간의 차이나 경향은 인공강우 조건에 비해서 명확하지 않다. 특히 T-P의 농도에 있어서 포장 간의 차

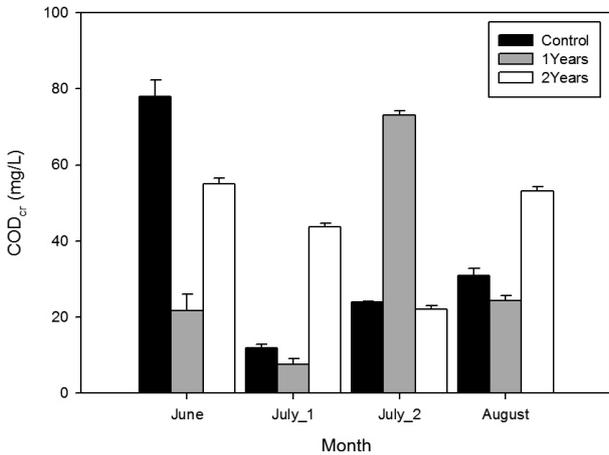


Fig. 3 Comparison of COD concentrations at different fields by sampling times

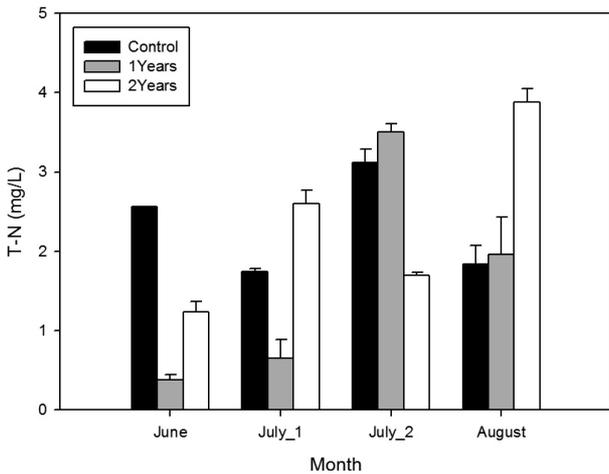


Fig. 4 Comparison of T-N concentrations at different fields by sampling times

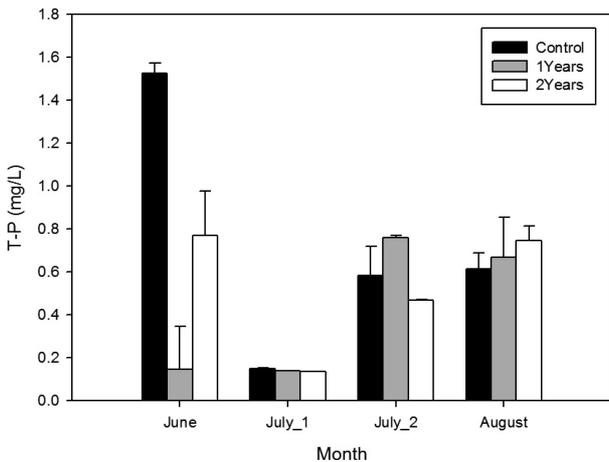


Fig. 5 Comparison of T-P concentrations at different fields by sampling times

이는 거의 없음을 Fig. 5에서 확인할 수 있다. 시료채취 시기별 T-P농도 차이는 강우강도 및 강우시점부터의 시간, 선행강우 조건 등 다양한 조건에 따라 영향을 받으므로 포장 조건에 따른 영향이라 단정하기는 곤란하다.

3) 역새재배에 따른 물환경 영향

자연강우 조건하에서 항목별 수질농도를 비교해 본 결과, 인공 강우 조건과는 달리 뚜렷한 차이나 경향은 거의 없는 것으로 보인다. 즉, 인위적인 식생재배가 이루어지지 않는 대조구 포장과 역새재배지 포장 간에는 COD, T-N, T-P 등의 농도 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 1년차 재배지와 2년차 재배지간의 농도차이가 다소 발견되고 있으나, 본 연구에서 선정된 2년차 포장은 전년도 식생의 수확이 거의 이루어지지 않았고, 잎이나 잔가지 등은 현장에 그대로 방치되어 시간이 지남에 따라 부식과정에 의해 유기물과 질소성분이 상대적으로 많이 배출된 것으로 판단된다.

Cho et al. (2006)은 관개기 논 담수중 수질 농도를 조사한 결과, 시비 수준에 따라서 차이가 약간 있으나 COD_{cr} 40 mg/L 내외, T-N 약 4.0 mg/L, T-P 0.2 mg/L 정도로 조사한 바 있다. Cho et al. (2000) 또한 논 단일필지 내 담수 중 수질 농도를 조사한 바 있는데, 그 결과는 Cho et al. (2006)과 유사한 농도를 보이고 있다. Kim et al. (2012)은 비점원오염 부하량을 저감하기 위하여 실트펜스와 식생밭두렁을 검토하며, T-N, T-P, COD 등의 농도 분포를 제시한 바 있다. 강우 조건 등에 따라서 영향을 받아 농도값에 큰 차이를 보이고 있으나, 대조구에서 T-N 0.38~8.03 mg/L, T-P 0.07~0.61 mg/L의 범위를 보였다. Shin et al. (2012)이 조사한 감자와 도라지 재배 포장에서 강우 유출수 중 T-N은 각각 3.4~27.5 mg/L, 1.368~21.755 mg/L, T-P는 각각 0.193~3.174 mg/L, 1.366~7.31 mg/L 수준이었다. 이러한 기존 조사결과와 비교할 때 역새 재배지에서의 강우 유출수 수질 농도는 기존의 농경지에 비해서 낮은 것을 확인할 수 있다. 물론 이들 농지는 작물 재배를 위하여 시비를 하였기 때문으로, 시비가 이루어지지 않은 역새재배지에 비해 높은 것으로 보인다. 역새의 수확량을 높이기 위해 시비가 이루어진다면, 역새 재배지에서도 기존의 농지에서와 비슷한 수준의 오염물질 농도를 보일 것으로 추정된다. 단, 본 연구에서는 포함하지 못하였으나, 강우 유출량을 측정하여 부하량을 산정하는 경우 차이가 다소 클 것으로 생각된다. 2년차 이상의 역새 재배지에서는 식생 피복도가 대단히 높기 때문에 차단량 (Interception) 과 역새에 의한 증발산량으로 인해 강우 유출량이 크게 감소할 것이기 때문이다. Smeets et al. (2009)은 실제로 역새와 스위치그라스를 대규모로 재배하는 경우 강우 유출수와 침투량의 감소를 언급한 바 있다. 즉, 수질 측면에서 볼 때 역새 재배를 위하

여 시비를 하지 않는 경우 오염물질 농도는 최소화할 수 있고, 강우 유출수량이 감소하므로 역사 재배에 따른 오염물질 배출 부하량은 크게 감소할 것으로 예상된다. Murphy et al. (2013)은 경제적이고 친환경적인 역사 재배를 위해서는 일반 농작물과 같은 시비를 회피하는 것이 필요하다고 강조하고 있다. 바이오작물로서 역사를 재배하는데 있어서 기존의 농작물 재배와는 달리 시비량을 최소화 혹은 회피함으로써 수질측면에서의 환경영향 문제는 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

V. 요약 및 결론

바이오작물로서 개발된 거대역사의 시범재배를 위해 금강에 인접한 지역에 2011년부터 조성된 단지를 대상으로 역사재배지의 환경영향 평가의 일부로서 강우 유출수에 의한 물환경 영향을 분석하였다. 단지 내에 별도의 식생 재배가 없는 대조구 포장과 1년차 및 2년차 포장에서 인공강우 및 자연강우 조건에서의 유출수를 분석하였고 현장 조사 결과를 논과 밭에서의 유출수 수질과 비교하였으며, 해외 사례와 비교하였다. 본 연구에서 조사된 역사 단지의 특성 및 그 결과를 근거로 판단할 때, 바이오작물로서 역사 재배단지를 조성하여 운영하는 경우 물환경에 미치는 영향에 대한 평가 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

1. 역사를 재배하지 않는 대조구와 역사 재배 1년차 및 2년차 포장에서 발생하는 강우 유출수 중 COD, T-N, T-P 등의 항목별 농도차이는 뚜렷하지 않았으며, 기존의 농경지에 비해 다소 낮은 수준이었다. 별도의 시비가 이루어지지 않는 경우 역사 재배로 인한 강우 유출수에 의한 수질오염 가능성은 없는 것으로 나타났다.

2. 전년도에 생장한 역사를 수확하지 않는 경우 역사 잔재물이 지속적으로 분해되어, 분해로 인한 유기물 등의 침출로 인해 COD와 T-N 등의 농도가 다소 상승하는 것으로 판단된다. 바이오작물로서 역사를 매년 수확하는 경우 이러한 오염 가능성은 회피할 수 있다.

3. 본 연구에서는 측정되지 않았으나, 역사 재배지에서의 강우 유출물은 일반적인 작물 재배 농지에 비해서 낮은 것으로 보고되고 있으므로, 유사한 COD 및 영양염류 농도 수준을 가정할 때 역사 재배지에서의 오염부하량은 기존 농경지에 비해 낮을 것으로 추정된다.

4. 역사는 뿌리에 질소 등의 양분을 축적하고 재이용하는 생리적인 특성을 가지는 것으로 알려져 있어 시비의 필요성이 낮으나 생산량을 높이기 위해 시비하는 경우도 있으므로, 역사 재배단지에서의 수질오염 가능성을 최소화하기 위해서는 비료 사용을 회피하는 것이 바람직하다.

REFERENCES

1. Cho, J. W., J. S. Kim, K. Y. Oh, and S. Y. Oh. 2006. Pollutant Concentrations at Experimental Paddy Plots during Irrigation Season. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 48(3): 97-106 (in Korean).
2. Cho, J. Y., K. W. Han, J. K. Choi, J. W. Goo, and J. G. Son. 2000. Runoff Loading on Nutrients from a Paddy Field during Non-Cropping Season. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 42(2): 63-70 (in Korean).
3. Choi, J. K., J. W. Goo, J. G. Son, J. Y. Cho, K. S. Yoon, and K. H. Han. 2001. Water Balance and Nutrient Losses of Paddy Fields Irrigated from a Pumping Station. *Annual Conference of Korean Society of Agricultural Engineers 2001*. pp. 394-398 (in Korean).
4. Hur, B. K., S. K. Rim, Y. H. Kim, and K. Y. Lee. 1997. Physico-Chemical Properties on the Management Groups of Paddy Soils in Korea. *Journal of Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 30(1): 62-66 (in Korean).
5. Kim, S. J., T. Y. Park, S. M. Kim, J. R. Jang, and S. M. Kim. 2012. A Plot Scale Experiment to Analysis the NPS Reduction by Silt Fence and Vegetated Ridge for Non-Irrigated Cropland. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 54(4): 19-27 (in Korean).
6. Love, B. J., and A. P. Nejadhashemi. 2011. Water quality impact assessment of large-scale biofuel crops expansion in agricultural regions of Michigan. *Biomass and Bioenergy* 35(5): 2200-2216.
7. Moon, Y. H., B. C. Koo, Y. H. Choi, S. H. Ahn, S. T. Bark, Y. L. Cha, H. H. An, J. K. Kim, and S. J. Suh. 2010. Development of "Miscanthus" the Promising Bioenergy Crop. *Korean Journal of Weed Science* 30(4): 330-339 (in Korean).
8. Murphy, F., G. Devlin, and K. McDonnell. 2013. Miscanthus production and processing in Ireland: An analysis of energy requirements and environmental impacts. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 23(0): 412-420.
9. Shin, J. Y., M. H. Shin, Y. H. Choi, H. W. Kang, C.

- H. Won, M. Y. Hwang, H. J. Yang, K. J. Lim, and J. D. Choi. 2012. Effect of Balloonflower and Potato Cultivation on Runoff and NPS Pollution Loads. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 54(6): 89-99 (in Korean).
10. Smeets, E. M. W., I. M. Lewandowski, and A. P. C. Faaij. 2009. The economical and environmental performance of miscanthus and switchgrass production and supply chains in a European setting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13(6): 1230-1245.
11. Smith, C. M., M. B. David, C. A. Mitchell, M. D. Masters, K. J. Anderson-Teixeira, C. J. Bernacchi, and E. H. DeLucia. 2013. Reduced Nitrogen Losses after Conversion of Row Crop Agriculture to Perennial Biofuel Crops. *Journal of Environment Quality* 42(1):.
12. Wu, Y., and S. Liu. 2012. Impacts of biofuels production alternatives on water quantity and quality in the Iowa River Basin. *Biomass and Bioenergy*. 36: 182-191.