



침사기능 콘크리트 배수로의 유사 유출 저감에 관한 연구

Study of Installation of Sediment Trap Drain Channel to Reduce Soil Erosion from Storm Water Runoff

신현준* · 원철희** · 최용훈* · 김태유* · 최중대*†

Shin, Hyun Jun · Won, Chul Hee · Choi, Yong Hun · Kim, Tae Yoo · Choi, Jung Dae

ABSTRACT

Researchers developed Sediment Trap Drain Channel (STDC) as a solution of the reduction of soil erosion and muddy runoff from a alpine field. The STDC is the one that can take a role of grit chamber by installing the shield made of woods in the concrete channel. The study was conducted 8 kinds of stages according to the amount of soil loss and the inflow. Evaluation factors were ss concentration, turbidity and reduced soil. The results of study showed lessness of ss concentration and turbidity from the lower spot than the upper spot. The average reduction rate of ss concentration was 74 % and the average reduction rate of turbidity was 62 %. It was turned out that the performance related soil loss and muddy runoff of the STDC is effective. The governance was needed to expect the effectiveness of the STDC.

Keywords: Soil erosion; muddy runoff; Sediment Trap Drain Channel; alpine field

1. 서 론

대표적인 경사지 밭으로 고려되는 대관령 지역의 고랭지 밭은 지형적, 기후적 요인으로 인하여 토양의 유실이 크게 발생한다 (National Institute of Highland Agriculture, 2000). 이로 인해 지력의 저하, 유기물 및 양분의 유실로 인한 상품 작물 재배의 어려움, 사용된 농약 등이 수계로 유입되어 비점오염을 일으킬 가능성이 크다 (Park, 2002).

비점오염저감에 대한 연구는 강우시 초기유출수를 처리하는 장치형 처리시설이나 도로에서 발생하는 비점오염 처리 등 도시비점오염이 중심을 이루고 있으나 (Kim et al., 2006), 농업비점오염에 관한 연구는 상대적으로 드물다. 특히 농업비점오염원 중 고랭지에서 발생하는 유사와 탁수는 인근 하천에 막대한 영향을 끼치고 있으나, 이에 대한 연구는 지극히 미진한 실정이다. 이에 고랭지 밭에서 유출되는 유사와 탁수의 양을 줄여야 할 필요성이 있다 (Choi et al., 2008). 국내의 경우 2006년 태풍 에위니아로 인한 집중호우로 소양강 유역에 다량의 유

사가 유입되어 고탁수 현상이 장기화된 사례가 있으며 (Korea Water Resources Corporation, 2007), Dundal (1981)은 전 세계적으로 토양유실로 인해 농경지 지력이 감소되고, 매년 6,000,000 ha 정도의 비옥토가 유실된다고 보고하였다. 이에 대한민국 정부는 고랭지 농경지에서 발생하는 탁수를 저감하기 위하여 2001년부터 한강수계기금을 일부 배정하여 탁수저감사업을 수행하고 있다. 그리고 2006년 장기간의 탁수 문제를 경험하고 난 후 2007년에 소양강댐 유역을 비점오염원 (탁수)관리 지역으로 지정하였으며, 2007년부터 7년 동안 3,839억 원의 예산을 배정하고 탁수저감사업을 시행하고 있다 (National Institute of Environmental Research, 2009). 강원도에서 시행하고 있는 탁수저감사업은 원충식생대, 식생발두령, 식생수로 (콘크리트수로), 우회수로 (콘크리트수로), 돌망태, 찰쌍기옹벽, 유속저감시설, 경사면보호, 침사지 그리고 재배작물전환 등 10가지로 구분하고 있다. 이중 콘크리트수로인 식생수로와 우회수로의 설치 길이가 230 km 이상에 달할 정도로 많이 시공되었다. 이 중 고랭지 밭 지역에 설치된 콘크리트수로는 평탄하거나 일부의 무늬가 있는 프리캐스트 배수블록을 조립한 수로이다. 이러한 콘크리트수로는 수로로 유입된 유사를 저감시킬 수 없으며 유출수를 하천으로 빠르게 배수하기 때문에 유사유출 저감효과가 거의 없다. 따라서 강우시 유사와 탁수로 인한 피해를 예방하기 위해서는 유속을 감소시키고 유실되는 토양을 침사시킬 수 있는 시설이 필요하다 (Center for Aquatic Ecosystem Restoration, 2009). 그러나 한국농어촌공사 (2010)

* 강원대학교 지역건설공학과

** 강원대학교 환경연구소

† Corresponding author Tel.: +82-33-250-6464

Fax: +82-33-

E-mail: jdchoi@kangwon.ac.kr

2010년 10월 1일 투고

2010년 11월 9일 심사완료

2010년 11월 18일 게재확정

의 조사 자료에 따르면 강원지역에 설치된 배수로 가운데 침사지나 침사구 역할을 겸하는 배수로는 없는 것으로 조사되었다.

따라서 본 연구에서는 배수로가 침사구 기능을 할 수 있도록 격막을 설치할 수 있는 콘크리트 배수블록을 제작하고 배수로를 설치한 후, 탁수의 양을 조절함으로써 기 설치된 배수로의 유사저감 효과를 고찰하였다.

II. 재료 및 방법

1. 침사기능 배수블록

연구에서 사용한 침사구 기능을 겸한 콘크리트 배수블록은 실험실내에서 설계하였으며, 외부 업체에 의뢰하여 제작하였다. 배수블록은 구형으로서 0.5 m (폭)×0.5 m (높이)×2 m (길이)의 크기로 설계하였다. 배수블록 중간에 격막을 설치 할 수 있도록 홈 (5 cm)을 만들었다. 격막은 0.55 m (폭) × 0.15 m (높이) × 0.05 m (두께)로 크기로 제작하여 배수블록 중간 홈에 끼웠다. 격막의 소재는 제작이 용이하고 구입이 쉬운 목재를 이용하였다. 침사기능 배수블록으로 배수로를 약 100 m 정도로 Fig. 1과 같이 설치하였다. 배수로의 각 구간별 길이와 경사도는 Table 1에 나타냈다.

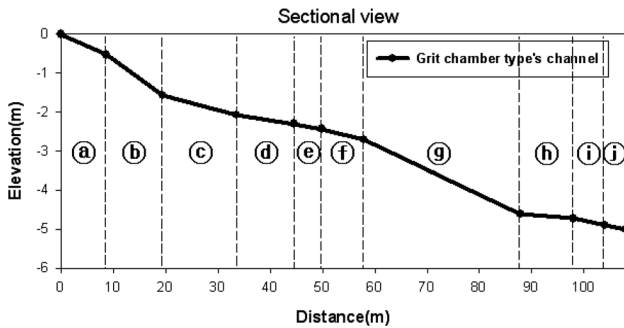


Fig. 1 Sectional sketch of the STDC

Table 1 Length and slope of the STDC

Section	Length (m)	Slope (%)	Remarks
a	8.68	6.05	Existing concrete channel
b	10.75	9.82	Sediment trap drain channel
c	14.19	3.52	Sediment trap drain channel
d	11.00	2.00	Sediment trap drain channel
e	5.20	2.50	Sediment trap drain channel
f	8.09	3.52	Sediment trap drain channel
g	29.94	6.36	Sediment trap drain channel
h	10.10	1.04	Sediment trap drain channel
i	6.00	3.00	Sediment trap drain channel
j	4.00	2.63	Sediment trap drain channel

2. 실험 및 분석 방법

침사기능 배수로는 강원도 춘천시 강원대학교 농장에 설치하였다. 침사기능 배수로의 유사저감 효과를 측정하기 위하여 배수로 상류에 약 37 m³ 규모의 저수조와 일정한 유량을 배수로로 공급할 수 있는 밸브시설을 설치하였다. 탁수는 배수로 상류 5 m 지점에서 저수조에서 배출되는 물과 건조된 토양을 섞어 배수로로 유입시켰다.

저수조에서 배수로로 유입되는 유량은 물의 유속, 유량단면적 그리고 거리를 측정하여 산출하였다. 유량은 36 L/min, 70 L/min, 150 L/min, 200 L/min로 조절하였으며, SS의 농도는 50,000 mg/L와 100,000 mg/L로 유지하며 실험하였다. 건조된 토양은 10초 간격으로 물에 섞었으며, 실험은 30분간 지속하였다. Fig. 2는 침사기능 배수로의 실험 장면이다.

분석을 위한 시료는 약 100 m의 침사기능 배수로를 3등분하여 상류, 중류, 하류로 나눠 10분마다 채취하였으며, 탁수와 유사의 저감효과를 조사하기 위하여 SS농도 항목은 환경부 제정 수질공정시험법에 의해 분석하였고 (Ministry of Environment, 2006), 탁도는 2100P Turbidimeter (HACH, USA)를 이용하여 측정하였다.



Fig. 2 Simulated scenes on the STDC

III. 결과 및 고찰

1. 토양특성

실험에 앞서 연구에 사용된 흙의 물리적 특성을 KS F 2302

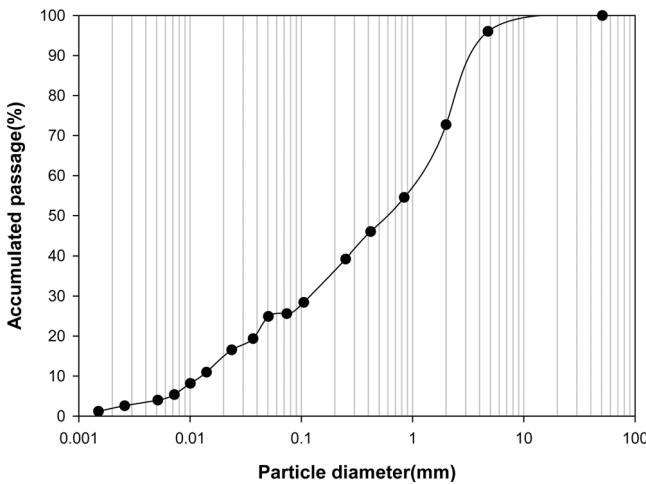


Fig. 3 Grain-size distribution of the soil used to simulate muddy runoff

방법에 따라 입도분포를, KS F 2308에 의하여 비중을 측정하였다. 입도시험 결과 토양은 점토 (Clay) 5.36 %와 실트 (Silt) 28.87 % 그리고 모래 (Sand) 69.89 %의 분포를 보였으며, 이에 따른 입도분포곡선은 Fig. 3과 같다. 흙의 입도조성에 따른 분류는 양질사토 (Loamy Sand)로 나타났다. Hwang et al. (1993)에 의하면 강원도 고령지 밭의 토성은 대부분 양질사토라고 하였는데, 본 실험에 이용된 토양도 양질사토로 고령지의 토양조건과 유사하였다.

2. 자연 강우에 의한 유사

우리나라 연평균강수량인 1,245 mm의 약 70 %는 여름에 집중된다 (Korea Water Resources Corporation, 2009). 짧은 기간에 많은 양의 강우가 내리는 만큼 현장에서는 토양유실이 크게 일어난다. 본 연구에서 계획한 실험을 하기에 앞서 여름철 강우로 인해 저감된 유사량을 측정하였다. 연구 장소에 있는 1000 m³의 밭에서 2009년, 7월 9일, 7월 11~14일, 8월 11~12일 세 강우사상 동안 내린 강우량은 각각 200.5 mm, 332.5 mm 그리고 192 mm이었다. 세 강우사상으로 인한 저감된 흙은 각각 1,058.9 kg, 7,357.4 kg 그리고 1,477.5 kg으로서 배수로 1 km 당 약 91.7 ton의 유사가 저감된 것으로 조사되었다. 이는 비점오염저감사업의 일환으로 투입된 콘크리트 재질의 식생수로와 우회수로를 본 배수로로 대체할 경우, 강원도 지역에서만 약 21,079 ton의 유사 저감효과를 거둘 수 있다. 그러나 이는 본 연구의 결과에 근거한 값이며, 배수로가 설치된 경사도와 흙의 토성 및 기타 환경요인을 고려할 경우 많은 차이가 날 수 있다.

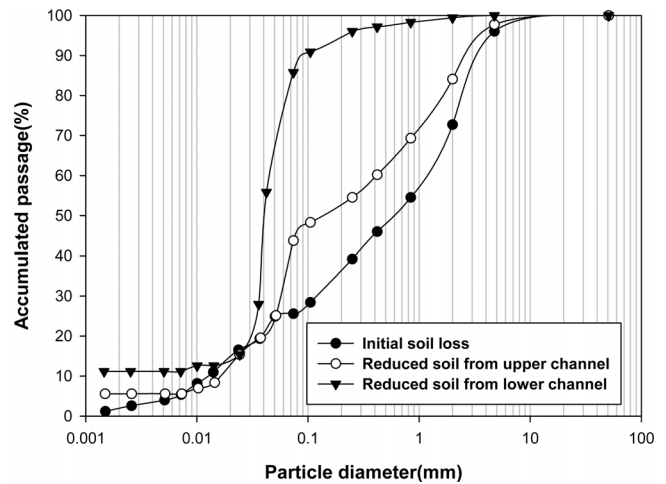


Fig. 4 Grain-size distribution of three type's soil to simulate muddy runoff

3. 실험에 따른 토양특성의 변화

Fig. 4는 실험 전 흙, 상류에 저감된 흙, 하류에 저감된 흙의 입도시험 후 분포의 변화를 입도분포곡선으로 나타낸 것이다. 분석 결과 상류로부터 하류까지 점토와 실트의 비율은 각각 5.58 %에서 11.17 %로 19.52 %에서 45.83 %로 변화하였다. 즉 배수로의 상부에서도 탁수를 유발할 수 있는 미세한 토양 입자가 제거되는 것으로 나타났으나, 대부분은 하류부에 퇴적되는 것으로 조사되었다. 반면 모래와 자갈의 비율은 59 %에서 42.2 %로 15.9 %에서 0.6 %로 줄었다. 입도조성에 따른 토양은 상류는 양질사토 (Loamy Sand), 하류는 양토 (Loam)로 분류되었다.

4. 채수 시간과 위치에 의한 SS 농도 변화

실험시간 30분 동안 SS의 농도 변화를 알아보기 위해 10분 간격으로 나눠 위치별로 채수하여 분석하였으며, 그 결과를 Table 2에 유출량과 유사량에 따라 제시하였다. SS농도는 36 L/min+50,000 mg/L, 36 L/min+100,000 mg/L, 70 L/min+50,000 mg/L, 70 L/min+100,000 mg/L, 150 L/min+50,000 mg/L, 150 L/min+100,000 mg/L, 200 L/min+50,000 mg/L, 200 L/min+100,000 mg/L에서 각각 10~3240 mg/L, 10~8,360 mg/L, 1,180~2,490 mg/L, 2,880~7,420 mg/L, 210~4,580 mg/L, 150~1,6040 mg/L, 580~5,700 mg/L, 970~12,140 mg/L의 범위를 보였다. 시간의 경과에 따라 SS의 농도는 커지는 것으로 나타났으나 흙의 양이 증가하면서 일부 지점에서 농도가 증가하다가 감소하는 추세를 보였다. 채수 위치에 따른 SS 농도는 하류로 갈수록 낮아지는 것으로 나타났다. 이는 상류에

Table 2 Result of ss concentration by discharge and soil loss variation

	SS concentration (mg/L)								
	10 minutes			20 minutes			30 minutes		
	Upper	Middle	Lower	Upper	Middle	Lower	Upper	Middle	Lower
36 L/min + 50,000 mg/L	1,050	520	10	1,770	700	160	3,240	1,270	360
36 L/min + 100,000 mg/L	2,540	840	10	8,360	1,350	260	6,850	1,570	750
70 L/min + 50,000 mg/L	1,940	1,650	1,300	2,150	1,390	1,190	2,490	1,270	1,180
70 L/min + 100,000 mg/L	4,110	3,100	2,970	5,780	3,280	2,880	7,420	3,330	3,100
150 L/min + 50,000 mg/L	2,660	210	430	1,570	1,030	780	4,580	1,250	1,070
150 L/min + 100,000 mg/L	11,660	650	150	16,040	2,410	1,260	10,030	3,830	1,650
200 L/min + 50,000 mg/L	5,100	580	700	5,260	1,950	740	5,700	2,640	1,670
200 L/min + 100,000 mg/L	7,010	1,530	1,010	12,140	4,560	970	11,720	7,030	3,860

Table 3 Result of turbidity by discharge and soil loss variation

	Turbidity (NTU)								
	10 minutes			20 minutes			30 minutes		
	Upper	Middle	Lower	Upper	Middle	Lower	Upper	Middle	Lower
36 L/min + 50,000 mg/L	2,420	1,008	105	2,535	1,196	361	2,640	1,202	405
36 L/min + 100,000 mg/L	2,810	1,630	9	5,430	1,935	566	4,020	2,570	1,696
70 L/min + 50,000 mg/L	1,360	1,832	1,346	1,750	1,516	1,472	2,315	1,670	1,716
70 L/min + 100,000 mg/L	3,615	3,105	2,790	5,140	3,555	3,445	4,810	4,615	3,395
150 L/min + 50,000 mg/L	1,900	216	566	1,670	1,130	942	4,170	1,560	1,670
150 L/min + 100,000 mg/L	9,760	742	149	9,960	3,590	1,822	7,120	4,990	2,705
200 L/min + 50,000 mg/L	4,000	701	664	5,220	2,360	840	4,430	3,785	2,340
200 L/min + 100,000 mg/L	7,220	1,972	772	6,480	4,035	1,212	8,220	4,540	4,650

설치된 배수블록이 부유물질을 하류로 흘러가지 못하게 많은 양을 침강 시킨 것으로 판단된다.

5. 채수 시간과 위치에 의한 탁도 변화

탁도의 경우 SS 농도와 같은 실험조건에 대해 분석하였다. Table 3은 유출량과 유사량에 따른 탁도의 양을 나타낸 것이다. 탁도는 36 L/min+50,000 mg/L, 36 L/min+100,000 mg/L, 70 L/min+50,000 mg/L, 70 L/min+100,000 mg/L, 150 L/min+50,000 mg/L, 150 L/min+100,000 mg/L, 200 L/min+50,000 mg/L, 200 L/min+100,000 mg/L의 조건에서 각각 105~2,640 NTU, 9~5,430 NTU, 1,346~2,315 NTU, 2,790~5,140 NTU, 216~4,170 NTU, 149~9,960 NTU, 664~5,220 NTU, 772~8,220 NTU의 범위를 보였다. 탁도는 상류에서 하류로 갈수록 값이 작아지는 경향을 보였으나, 시간의 경과에 따라서는 일정한 경향을 보이지 않았다. 이는 쉽게 침강되지 않은 미세 부유물질이 차단막을 넘어 하류까지 흘러들어 간 것으로 판단된다.

6. 실험 조건별 저감율

본 연구에서는 8가지 실험조건에서 유출량에 따른 유사농도를 50,000 mg/L, 100,000 mg/L로 환산하여 유입되는 흙의 양을 계산하였다. 예를 들어, 유출량을 70 L/min로 하면 50,000 mg/L, 100,000 mg/L로 환산하여 각각 3,500 g/min, 7,000 g/min이 되고 10초당 583 g과 1,167 g이 된다. Table 4에는 각 실험 조건에서 침사구 기능이 강화된 배수블록에서 저감된 흙의 양과 저감율을 나타내었다. 저감율은 식 (1)을 이용하여 산정하였다. 실험 결과 배수로에서 유사의 저감율은 55.00~88.38%의 범위를 보였으며, 평균적으로 76.4%가 저감된 것으로 조사되었다. 이는 실험조건에서만 적용될 수 있는 결과이다. 그러나 연구에서 적용한 배수블록 (차단막)의 높이를 증가시킬 경우 저감되는 양은 더욱 증가할 것이다. 반대로 지형의 경사도가 증가할 경우 저감되는 흙의 양은 감소할 것이다. 즉 실제 설치 환경에 따라 차이는 있을 수 있으나, 기존의 배수로에 본 연구에서 적용한 배수블록을 설치할 경우, 강우시 유사 저감되는 것은 명확한 사실이며, 이로 인하여 유발될 수 있는 탁수

Table 4 Result of reduction ratio by experimental condition

	Amount of soil loss per 10 sec (g)	Amount of soil loss (kg)	Reduced soil (kg)	Ratio of reduction (%)
36 L/min+ 50,000 mg/L	300	54	45.75	84.72
36 L/min+ 100,000 mg/L	600	108	59.40	55.00
70 L/min+ 50,000 mg/L	583	105	75.72	72.11
70 L/min+ 100,000 mg/L	1,167	210	150.74	71.78
150 L/min+ 50,000 mg/L	1,250	225	192.23	85.43
150 L/min+ 100,000 mg/L	2,500	450	397.70	88.38
200 L/min+ 50,000 mg/L	1,667	300	255.73	85.24
200 L/min+ 100,000 mg/L	3,333	600	412.24	68.71

의 저감에 큰 효과가 있을 것으로 판단된다.

$$\text{저감율(\%)} = (\text{저감된 유사량}) \times 100 / (\text{유사량}) \quad (1)$$

IV. 결 론

본 연구에서는 고랭지 경사 밭에서 강우시 발생될 수 있는 토양 유실과 탁수를 저감하기 위해 침사구 기능이 강화된 배수로를 이용하였으며, 유사량과 탁수에 따른 실험을 수행하여 유사의 저감효과를 조사하였다. 연구로부터 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 실험 전, 그리고 상류, 하류의 입도분석 결과 상류와 하류의 입도 변화를 봤을 때 점토와 실트의 비율이 증가하였는데 이는 침사기능 배수로의 격막에 의해 저감된 흙 중에서 0.05 mm 이하의 입자는 하류까지 흘러가 저감된 것으로 판단된다. 탁수가 20 μm 이하의 점토 및 실트입자가 부상하여 하천을 오염시킨다는 점을 감안하면 본 연구에서 나타난 하류지점에서 채취한 입도분석은 탁수 저감에 충분히 영향을 끼칠 것으로 판단된다.

2. SS 농도와 탁도의 위치 및 시간별 변화를 분석한 결과 상류에서 나타난 값과 하류에서 나타난 값은 많은 차이를 보였다. 8가지의 실험 조건에 따른 상류에서 하류까지 SS 농도는 27~99 %가 감소하였으며, 평균적으로는 약 74 %가 감소하였다. 탁도는 평균적으로 약 62%가 감소한 것으로 나타났는데, 이는 침사구 기능이 추가된 배수로가 탁수 및 유사 저감에 효과가 있음을 보여주는 결과이다. 추후 물은 통과하나 유사는 저감할 수 있는 필터링 기능이 강화된 격막을 개발하여 설치할 경우 유사 및 탁수의 저감효과는 더욱 증가할 것으로 예상된다.

3. 침사구 (sediment trap)의 역할을 수행할 수 있는 배수불

록을 소양강댐 상류의 고랭지 지역 (배수로 230 km 설치)에 설치할 경우 강우시 상당량의 유사를 제거하여 고랭지 농업지역의 탁수저감에 기여할 수 있는 최적관리기술의 하나로 이용이 가능할 것으로 판단된다. 그러나 침사기능 배수로의 사후 처리는 농민과 지자체 그리고 정부로 연계되는 제도의 도입으로 보다 효과적이고 능률적으로 최적관리가 될 수 있도록 해야 한다. 자발적으로 저감된 흙을 처리하고 그에 상응하는 인센티브가 주어진다면 침사기능 배수로의 현장 배치는 가능할 것이라 판단된다.

본 연구는 환경부 Eco-Star project (과제번호 07-11-6)의 연구비 지원을 수행되었으며, 이에 깊이 감사드립니다.

REFERENCES

1. National Institute of Highland Agriculture. 2000. *Vegetable growing techniques of highland*, 561 (in Korean).
2. Park, C. S., 2002. Soil Management Practices to Reduce Water Erosion from the sloped Farmland in Highland. A doctoral dissertation in Kangwon university graduate school. (in Korean).
3. Kim, L. H., S. O. Ko, B. S. Lee, and S. G. Kim, 2006. Estimation of Pollutant EMCs and Loadings in Highway Runoff. *Proceedings of Korean Society of Civil Engineers* 26(2B): 225-231 (in Korean).
4. Choi, J. D., I. H. Ko, 2008. Study on Turbid-Water Reduction of Upland Fields at Highland in Gangwon Province. *Journal of Korea Water Resources Association* 41(7): 43-47 (in Korean).
5. Korea Water Resources Corporation, 2007. Report on Establishment of Plan for Reduction Turbid-Water of Multipurpose Dam(Dam of Soyang River etc). (in Korean).
6. Dudal, R., 1981. An evaluation of consevation needs, In R. P. C. Morgan(Editor) *Soil Conservation, Problems and Prospects*. J. Wiley & Sons, Chichester, England, 3-12.
7. National Institute of Environmental Research, 2009. *Journal of Monitoring and evaluation of NPS pollution priority management region* (in Korean).
8. Center for Aquatic Ecosystem Restoration, 2009.

- Journal of Development of Effective Technologies for Non-point Source Control* (in Korean).
9. Korea Rural Corporation (2010). www.ekr.or.kr
 10. Ministry of Environment, 2006. Water Contamination Process Test
 11. Hwang. E., B. J. Cho, S. D. Seo, S. W. Park, D. H. Jung, K. C. Lee, B. H. Um, and C. K. Kim, 1993. Agricultural Engineering, Hyang Mun Publisher
 12. Korea Water Resources Corporation (2009). www.kwater.or.kr