

그물망침사지를 이용한 고랭지밭 흙탕물 저감효과 연구

현근우 · 박한규* · 이용식* · 이석종 · 박정희** · 전상호** · 최재완** · 임경재**†

강원도보건환경연구원

*강원도청

**강원대학교

Analysis of Sediment Reduction Efficiency with Net Type Sediment Settling Pond at Highland Agricultural Region

Geun-Woo Hyun · Han-Kyu Park* · Yong-Sik Lee* · Suk-Jong Lee ·
Jeong-Hee Park** · Sang Ho Jun** · Jaewan Choi** · Kyoung Jae Lim**†

Gangwondo Government Public Institute of Health & Environment

*Gangwon Province

**Kangwon National University

(Received 19 August 2009, Revised 12 January 2010, Accepted 13 January 2010)

Abstract

This study was carried out to estimate effects of sediment reduction with net type sediment settling pond at highland agricultural areas. Flow and sediment monitoring system with rainfall gauge were installed at the study area for real-time monitoring and analysis. It was found that amount and intensity of rainfall events strongly affect sediment yield from the study area. With net type sediment settling pond, it was expected that approximately 61% of sediment could be removed. The correlation between heavy metals and SS were analyzed in this study. R² values were 0.644, 0.876, 0.945, and 0.928 for Fe, Mn, Al, and Si, respectively. This results indicate that heavy metals also could be removed with net type sediment settling pond. As shown in this study, the sediment settling pond will be an efficient sediment reduction facility at highland agricultural areas. For maximum reduction efficiencies of sediment and other pollutants at agricultural fields, simplified sediment settling pond should be designed and implemented.

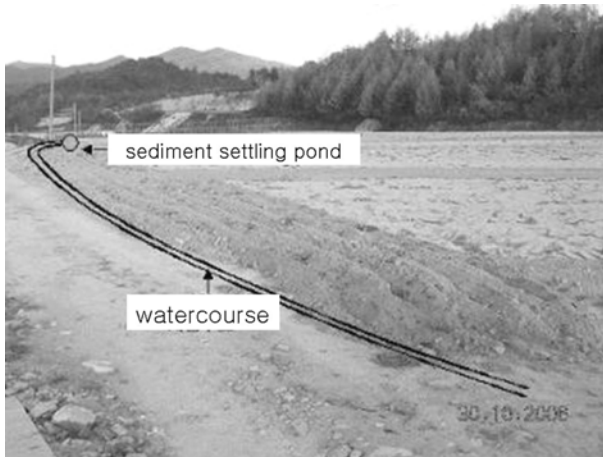
keywords : Highland agriculture, Net type sediment settling pond, Soil loss, Turbid water

1. 서론

고랭지 경작지의 69%를 차지하는 고랭지밭은 입지와 영농방법 등에 있어서 고랭지 논에 비해 토사유출 등 환경문제를 크게 일으킨다. 고랭지 경작지는 평지보다 기온이 낮고 경작에 필요한 기후의 지속기간이 짧아 경작이 이뤄지는 6~9월을 제외하고는 나지상태로 방치되는 경우가 많기 때문이다(환경부 수질보전국, 2004). 밭 성토제는 비중이 높은 마사토이며 집중강우 시 토양유실이 많아 소양호의 흙탕물 발생의 원인 중 하나로 작용하고 있다. 경작지의 면적 확대에 의해 하천변 식생대, 발두렁 및 수로 등이 훼손되고 있으며 밭 주변의 잡초를 제거하려고 제초제가 사용되고 있다. 이러한 영농적인 요인도 토양유실을 높이는 요소이다. 고랭지 배추의 경우 표준 시비량에 비하여 질소, 인산 및 칼륨이 과다하게 시비되는데, 모래 함량이 높은 토양은 토사에 의한 침식으로 양분 유실이 급격히 증가한

다(박철수, 2002). 일반적으로 토양 구조로부터 분리되어 수생태계에 영양원을 공급하는 토사전달은 자연에서 필요한 프로세스이지만, 토지피복 보호 등의 적절한 토사관리가 없이 발생하는 과다한 토사가 하천으로 유출되는 것이 수생태계에 문제를 야기시킨다(김익재 등, 2007). 또한 이러한 토사의 유입은 하천이용도 저하, 하류지역 정수처리 비용증가 등의 심각한 문제의 원인이 되며 이를 효과적으로 개선하기 위한 대책·토론회 등이 개최되어 탁수발생의 원인 및 대책에 관한 많은 논의가 이루어지고 있다(허성구 등, 2008). 토사 유출을 직접적으로 저감하기 위한 시설로는 침사지와 다목적 저류지가 있다. 그러한 시설은 탁수가 유발되는 인근 지역에서 효과적으로 작용한다. 그 동안 Cutis and McCuen(1997)의 탁수 발생 시 홍수조절 저류지의 효율성에 대한 연구, Ferrara(1982)의 비점오염원에서 발생하는 탁수 등의 오염물질을 방지하기 위한 저류지의 연구 등 저류지에 관한 다양한 연구가 수행되었으며, 침사지에 관해서는 그 적용에 있어서 고려해야 할 제반 인자에 대한 연구(Chen, 1975)와 공사장에서 토사가 발생할 때 침사지에서 제거할 수 있는 효율성에 대한 연구(Davis et al.,

† To whom correspondence should be addressed.
kjlim@kangwon.ac.kr



(a) Study area



(b) Drainage Ditch

Fig. 1. Study area and sediment settling pond.

1977) 등이 수행되었다. 그러나 고랭지 밭에서의 토사유출 제어를 위한 침사지 효과분석에 대한 연구는 매우 제한적으로 수행되어 왔다.

본 연구에서는 고랭지 밭에서 발생하는 흙탕물을 제어하기 위한 침사지의 효과를 분석하고자 그물망 침사지를 설계·시공한 후, 강우량, 유입수량, 침사지 유입수 및 유출수의 수질 자료를 분석하였다. 본 연구의 결과는 고랭지 밭에서 발생하는 탁수를 제어하기 위한 침사지 설계의 기초자료로 활용될 수 있을 것이라 판단된다.

2. 연구방법

2.1. 연구 대상 지역의 선정

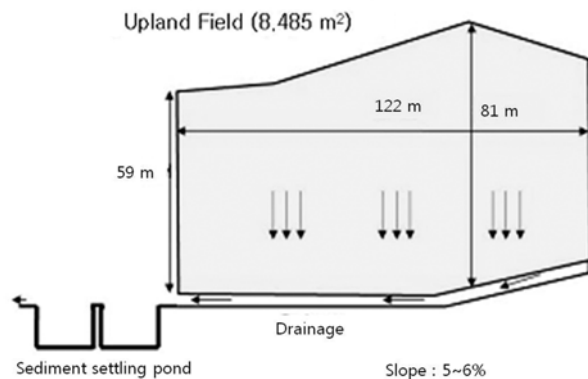
본 연구에서는 강원도 홍천군 내면 자운 4리, 8,485 m²의 고랭지 밭을 연구지역으로 선정하였다. 연구 대상지에서의 유출수량 및 수질을 분석하기 위하여 콘크리트 배수로로 설비하였고(Fig. 1(a), (b)), 배수로 말단부에 11.3 m³ 용량의 침사지를 2기 설치하였다(Fig. 2). 연구지역 고랭지 밭의 평균 경사도는 대략 5~6%로서 자운 4리 일대를 대표할 수 있는 경사도이다. Fig. 3은 침사지 내부 구조 사진 자료



Fig. 3. Internal structure of sediment settling pond.



Fig. 4. soil dressing for maximum crop production.



Capacity 11.3 m³×2 sets = 22.6 m³

Fig. 2. Sediment settling pond.

이다. 연구대상 지역에서는 매년 계속되는 토양유실로 인해 성토를 하여 작물 생산량을 증대하고 있다(Fig. 4). 연구 대상 농경지에서는 20~30 cm 높이로 성토 실시 후 멀칭을 하여 무를 재배하였다(Fig. 5). 연구지역내 토양의 단위중량은 약 2.6 ton/m³으로서 1 m³ 당 2.6 톤으로 계산하였다.

2.2. 침사지 설계

침전(sedimentation)은 물보다 무거운 부유입자를 중력에 의해 물로부터 분리하는 것이다. 침전은 모래제거, 최초침



Fig. 5. Growing radish at the mulching field.

전지에서서의 입자성 물질 제거, 활성슬러지 침전지에서서의 미생물 플럭의 제거, 화학적 응집 침전에서의 플럭 제거 등의 목적으로 사용된다. 농도와 입자간의 작용력에 의하여 침전은 단독 침전(제1형 침전), 응집 침전(제2형 침전), 간섭 또는 계면 침전(제3형 침전) 및 압밀 침전(제4형 침전)의 4가지형태로 구분된다. 하나의 침전공정 중에서 한 가지 이상의 침전 형태가 일어나는 것이 보통이며, 동시에 4 가지 형태의 침전이 일어날 수도 있다(이광래와 임재명, 1996). 흙탕물의 침전은 유기물질이 적은 물리적 특성으로 볼 때 단독 침전(제1형 침전)에 가깝다. 침사지의 유속이 느리면 미세한 유기물까지 침전하고 유속이 크면 토사의 한계 유속을 넘어 침전된 토사가 부상한다.

Shield 공식과 Darcy Weisbath의 유속공식을 이용하면 한계 유속은 다음과 같다.

$$V_c = \left[\frac{8\beta}{f} \cdot g(S-1)D \right]^{1/2} \tag{1}$$

- Vc = 한계 유속(m/sec)
- f = 마찰 계수(≒ 0.03)
- β = 상수(≒ 0.06)
- g = 중력가속도(= 9.8 m/sec²)
- S = 입자의 비중
- D = 입자의 직경(mm)

입자의 직경이 0.2 mm인 토사(비중 2.6)의 한계 유속은 0.23 m/sec이고 0.4 mm인 토사의 한계 유속은 0.32 m/sec이다. 일반적으로 평균유속은 제거대상에 따라 다르지만 0.3 m/sec를 표준으로 한다. 침사지에서 제거되는 토사의 침전속도는 수심과 무관하며 침사지의 표면적과 관계가 있다. 일반적으로 표면 부하율은 오수 침사지의 경우 1,800 m³/m²·day, 우수 침사지의 경우 3,600 m³/m²·day을 표준으로 한다. 따라서 토사의 비중이 2.65인 경우, 이와 같은 표면부하율에서 최소 제거입자의 직경은 오수 침사지의 경우 0.2 mm 우수 침사지의 경우 0.4 mm 정도가 된다. 설계 시 흔히 사용하는 표면 부하율은 침전속도와 같은 단위 개념이다. 침사지의 표면 부하율은 식 (2)와 같이 산정된다.

$$v = \frac{Q}{LW} \tag{2}$$

- v = 침사지의 표면 부하율
- Q = 유량(m³/day)
- L = 침사지의 길이(m)
- W = 침사지의 너비(m)

침사지의 체류시간은 위와 같은 표면 부하율과 입자의 침전속도를 고려하여 30~60초를 표준으로 하는 것이다.

연구지역의 고령지밭 면적은 8,485 m²이었다. 본 실험에서는 집중 호우시 토사 제거효율을 충분히 발휘하도록 일반적인 침사지의 체류시간에 여유 용량을 충분히 고려하여 체류시간을 5분으로 침사지 용량을 설계하였다. 흙탕물 유입유량의 경우 시간당 최대 50 mm의 강우량이 고령지밭에 쏟아질 경우를 예상하여 계산하였다. 여기서, 밭에 내린 빗물 중 35%는 토양에 침투되고, 65%가 표면으로 유실된다고 가정한 결과 유효설계용량이 23 m³으로 계산되었다(식 (3)).

$$Q = 50 \text{ mm/hr} \times \frac{\text{hr}}{60 \text{ m}} \times 5 \text{ m} \times \frac{\text{m}}{1000 \text{ m}} \times 8485 \text{ m}^2 \times 0.65 \approx 23 \text{ m}^3 \tag{3}$$

실험을 위한 침사지는 시공의 용이성과 구조물 변경 용이성, 구조물의 내구성 등을 감안해서 FRP로 제작하였다. 침사지 1기 당 11.3 m³의 용량으로서 전체용량 22.6 m³으로 하여 식 (3)에서 미리 계산한 유효설계용량에 부합되도록 하였다. 집중강우의 특성 상 강우가 내리는 시점을 미리 예측하기 어렵다는 점, 연구 지역이 원거리에 위치해있다는 점, 다양한 강우의 특성에 대한 실시간 자료의 습득이 필요하다는 점 등을 고려하여 유입 유량, SS, 강우량 등을 원격지에서 모니터링 하는 PLC System을 도입하였다(Fig. 6).

2.3. 침사지 구조

침사지의 물리적 구조에 따라 침사지 내에서 토사의 제거효율이 달라질 수 있다. 또한 토사의 제거효율 못지않게 침사지 유지 관리의 간편성도 고려해야 한다. 침사지 내부 구조물을 단순화하고 자연 배수를 유도하는 측면을 고려하여 침사지 내부구조를 그물망침사지로 하였다(Fig. 7). 침사지 1의 경우 아랫부분에 직경 10 cm의 원통형 관을 삽입하여 자연 배수를 유도했고, 침사지 2의 경우 아랫부분과 중간부분에 직경 1 cm의 구멍을 12군데 만들어 자연 배수를 유도했다. 침사지 1, 2의 경우 착탈식 그물망을 설치하여 침사지의 효율을 최대한 유지하였다. 이러한 개방 구조는 내부에 쌓인 토사의 인출을 간편하게 한다. 강우가 내린 후에 토사만 남게 함으로써 굴삭기 등을 이용한 토사의 인출을 간편하게 만든다.

2.4. 모니터링 장비 설치

본 연구에서는 고령지 농경지에서 발생하는 유출량 및 오염물질의 저감효율을 평가하기 위하여 각종 모니터링 측정장비를 활용하였다. 모니터링 측정장비에 의해 측정되는

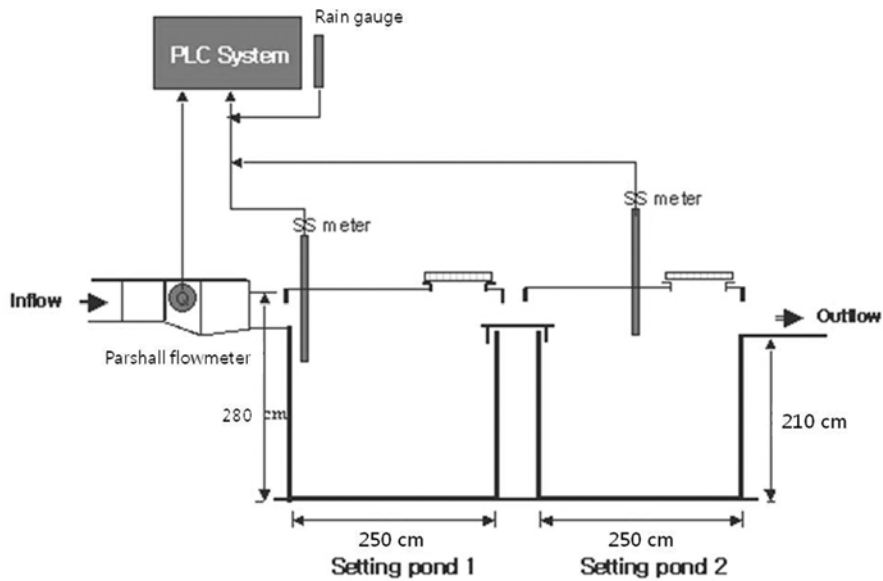


Fig. 6. Scheme of sediment settling pond and monitoring system.

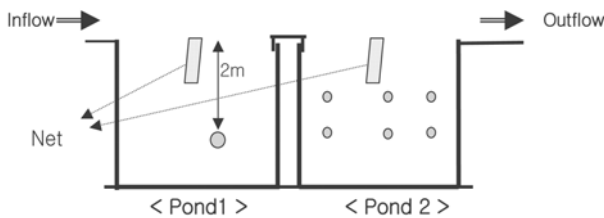


Fig. 7. Sediment settling pond design.

Table 1. Method or equipment for measuring water quality

Water quality items	Method or equipment
Flux	Ultrasonic open channel flow meter
Rainfall	MODEL WDR-205
SS	MLSS TRANSMITTER
Turbidity	Turbidimeter (HACH's 2100AN)
T-N, T-P	BRAN+LUEBBE's AACS-III
COD	Titration method by potassium permanganate
Heavy metal	ICP (PerkinElmer사의 Optima 4300DV)

항목은 SS, 유입유량, 강우량 등이었으며, 현장 시료채취 실험항목은 입도, TN, TP, COD, 탁도, 중금속 항목 등이었다. Table 1은 유량, 강우량, 수질을 측정하기 위한 기기와 방식들이다.

2.5. 침사지 처리 효율 분석

본 연구에서는 강우 특성에 따른 고령지발 흙탕물의 유출 특성 및 침사지 처리 효율을 분석하기 위하여 연구대상 유역이 해발 700 m 고지대에 위치해 있기 때문에, 상당부분 동결기로서 강우에 따른 유출이 발생하지 않는다. 따라서 본 연구에서는 2008년 5월부터 10월까지 측정된 강우 자료, 유출량 자료, 그리고 수질 항목별 모니터링 자료를 활용하였다. 침사지의 효과를 분석하기 위하여 2008년 각 강우사상별 강우량, 침사지로 유입되는 유입량, 부유유사량

및 유입 수질 농도와 침사지에 퇴적된 유사량, 침사지를 통과하여 유출되는 유출량, 부유유사량 및 유출 수질 농도를 실측·분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 침사지 내 토사 침전량

Table 1은 2008년 유출이 발생했던 날의 강우량, 유사량, 부유유사량을 측정한 결과이다. 일 강우량이 215 mm로서 최대치를 보였던 2008년 7월 24일에 3 m³ (약 7.9 톤)으로서 가장 많은 토사가 침전되는 등 2008년도 연구기간 중 침사지 내에서 약 6.1 m³ (약 16톤)의 토사가 제거된 것으로 측정되었다(Table 2).

측정된 SS 자료를 토대로 계산한 침사지 밖으로 빠져나간 유출 토사량은 약 2.1 m³로 산정되었으며, 따라서 사업지구 내에서 2008년에 발생한 토사의 총량은 약 8.15 m³로 산정되었다. 강우 강도에 따른 영향이 있지만, 대체적으로 일 강우량 20 mm 이하에서는 토사가 거의 발생되지 않았다. Fig. 8에 강우량과 침사지 내 토사 침전량의 상관관계를 도시하였다. 강우량이 많을수록 침사지내 토사 침전량이 증가하는 경향이었다. Fig. 9는 토사가 축적된 침사지의 사진이다.

3.2. 발 강우총량 및 표면유출량

2008년도 강우에 따른 표면유출량을 분석한 결과 유출률이 0.9~35.6%에 이르렀다(Table 2). 강우에 따른 유출률을 분석한 결과, 2008년 8월 3일에는 27 mm의 강우량에서 표면유출비가 25.3%로서 비교적 높은 수준이었던데 반해서 9월 1일에는 26 mm의 강우량에서 유출률이 0.9%에 불과했다. 8월 3일에는 그 전 날 24 mm의 강우가 내렸던 데 반해서 9월 1일에는 그 전까지 8일 동안 강우가 내리지 않았기 때문이었다. 강우가 지속적으로 내릴수록 유출률이 높아

Table 2. Rainfall, settled and suspended sediment, and total sediment for each storm event

Date	Rainfall (mm)	Settled sediment (m ³ /d)	Suspended sediment (m ³ /d)	Total sediment (m ³ /d)
6.5	17.0	0.04	-	0.04
6.18	41.5	0.18	0.01	0.19
7.3	16.0	0.16	-	0.16
7.13	23.0	0.16	0.01	0.17
7.15-7.16	29.0	0.25	0.03	0.28
7.19-7.20	75.0	0.64	0.13	0.77
7.24	215.0	2.95	1.31	4.05
7.25	21.0	0.08	-	0.08
8.02	24.0	0.09	0.004	0.09
8.03	27.0	0.30	0.05	0.35
8.12	31.0	0.09	0.04	0.13
8.16	16.5	0.03	-	0.03
8.18	39.5	0.30	0.05	0.35
8.22	77.0	0.62	0.13	0.75
8.23	16.5	0.09	-	0.09
9.01	26.0	0.02	-	0.02
9.02	16.0	0.03	-	0.03
etc.	129.0	0.05	-	0.05
Total	840.0	6.08	2.07	8.15

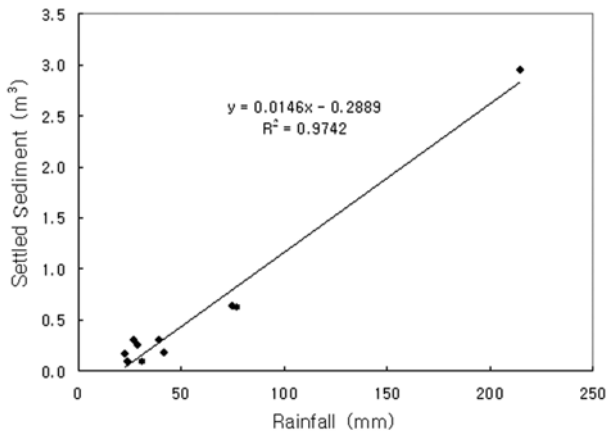


Fig. 8. Relationship between rainfall and settled sediment.



Fig. 9. Settled sediment in pond.

Table 3. Rainfall and surface runoff by day

Date	Rainfall (mm)	Rainfall volume (m ³)	Runoff volume (m ³)	Runoff coefficient (%)
6.5	17.0	144	2	1.4%
6.18	41.5	352	21	6.0%
7.3	16.0	136	27	19.9%
7.13	23.0	195	14	7.2%
7.15-7.16	29.0	246	30	12.2%
7.19-7.20	75.0	636	88	13.8%
7.24	215.0	1824	649	35.6%
7.25	21.0	178	13	7.3%
8.02	24.0	204	16	7.9%
8.03	27.0	229	58	25.3%
8.12	31.0	263	32	12.2%
8.16	16.5	140	2	1.4%
8.18	39.5	335	67	20.0%
8.22	77.0	653	119	18.2%
8.23	16.5	140	25	17.9%
9.01	26.0	221	2	0.9%
9.02	16.0	136	11	8.1%
etc.	129.0	1095	20	1.8%
Total	840.0	7127	1196	16.8%

지고, 무강우일수가 많을수록 유출률이 낮아지는 경향이였다. 이는 무강우 기간 동안 토양의 침투능이 증가하였기 때문에 상대적으로 유출이 감소하였기 때문이다.

Fig. 10은 발에 내린 강우의 총량과 고령지발에서 침사지로 유입된 흙탕물량, 즉 흙탕물의 표면유출량을 비교한 것이다. 강우량이 많을수록 흙탕물의 표면유출량이 증가하였다. 2008년 5월 1일부터 2008년 6월 5일까지의 강우량은 12 mm에 불과했고, 이때 발에 내린 강우의 대부분이 토양 속으로 스며들고 표면으로는 거의 유출되지 않았다.

강우 경향에 따른 흙탕물 발생량은 고령지발 침사지의 용량을 계산하는데 유용한 요소이다. Fig. 11은 15분 강우량과 유입유량의 관계를 도시한 것이다. 집중 호우 시 흙탕물의 발생량, 즉 집중호우와 표면유출량의 관계를 파악하기 위해서 15분 집중 강우량 자료를 토대로 분석하였다.

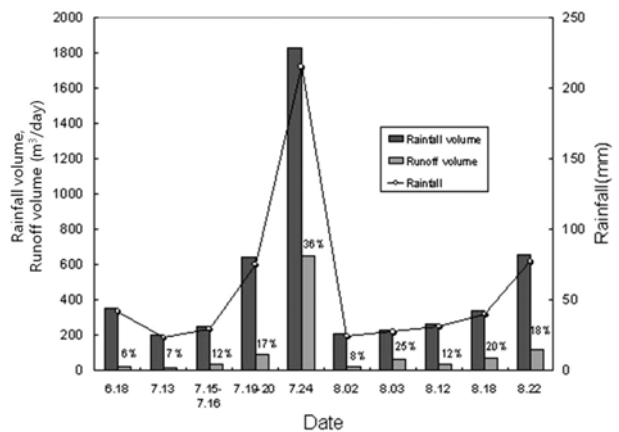


Fig. 10. Relationship between rainfall and surface runoff volume at the study area.

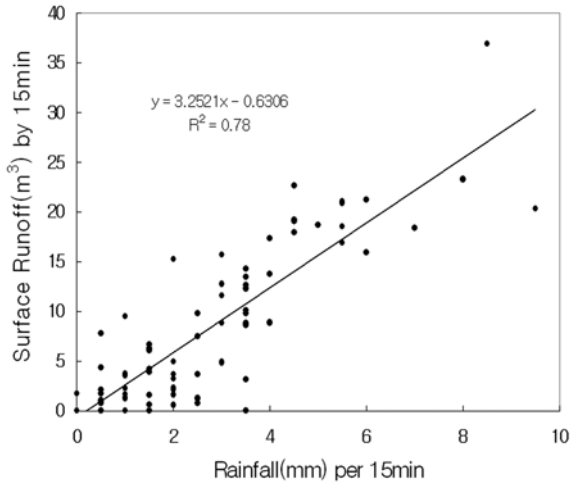


Fig. 11. Relationship between rainfall and surface runoff per 15 min.

일반적으로 강우량이 증가할수록 표면유출량도 증가하는 것으로 분석되었다.

3.3. 모니터링 결과 및 SS 처리효율

3.3.1. 1차 분석 결과

태풍 갈매기가 북상했던 2008년 7월 19~20일 양 일간 75 mm의 강우가 강우량계로 관측되었다. 강우의 특징은 게릴라성 집중호우로서 특정시간에 집중되는 경향을 보였다. 자동계측장치에 의해 모니터링 된 SS와 유량자료는 Fig. 12와 같았다. 집중호우시 급격하게 유입되는 흙탕물과 SS의 경향을 보여준다. 양 일간의 집중호우로 인하여 약 88 m³의 흙탕물이 침사지에 유입되었으며, 약 0.6 m³의 토사가 침사지에서 제거된 것으로 산정되었다. 유입 SS의 평균 농도는 3,867.0 mg/L이었고 유출 SS의 평균농도는 1,505.0 mg/L로서 약 61%의 처리효율을 보였다.

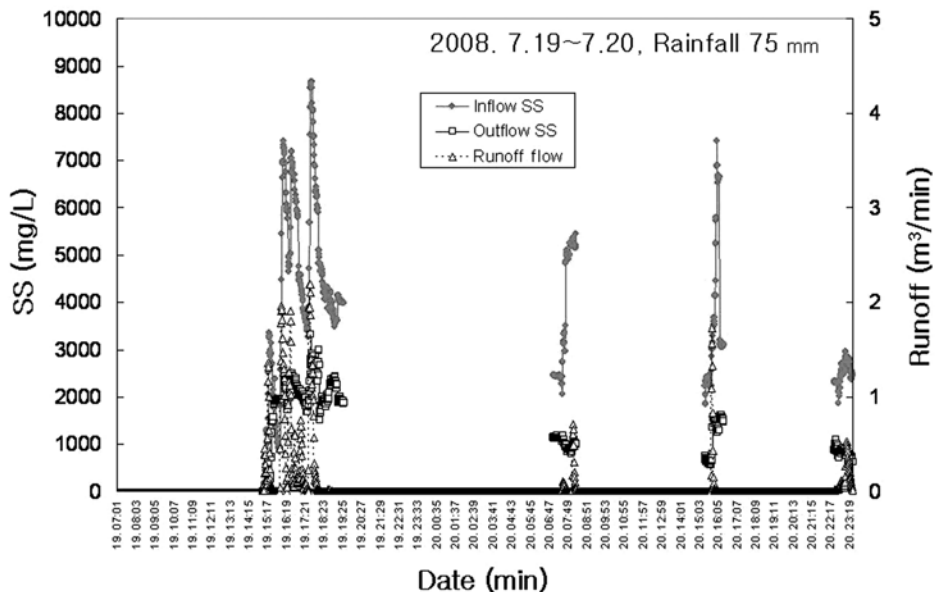


Fig. 12. Comparison of inflow and outflow SS concentration on Jul. 19-20, 2008.

3.3.2. 2차 분석결과

2008년 7월 24일 새벽부터 장마전선이 중부지방을 지날 것으로 예보되어 현지 출장 조사하였다. 2008년 7월 24일 하루 동안 215 mm의 호우가 내렸으며, 강우는 그 강도를 달리하면서 하루 종일 지속적으로 내렸다. 이 날 약 649 m³의 흙탕물이 침사지로 유입되었으며, 약 3 m³의 토사가 침전되었다. 침사지로 유입되는 흙탕물의 양은 집중호우 시 증가하는 경향을 나타냈다. 유입 SS의 평균 농도는 4,370 mg/L이었고 유출 SS의 평균농도는 2,011 mg/L로서 약 54%의 처리효율을 보였다. 밭에 내린 강우총량은 약 1,824 m³이었는데 반하여 밭에서 유출된 표면유출량은 약 649 m³으로서, 밭에 내린 강우 중 약 36%의 흙탕물이 침사지를 경유하여 하천으로 유출되었다. Fig. 13은 침사지 유입수와 유출수의 SS, 그리고 유량(표면유출량)의 변화를 도시한 것이다. 이 날 강우의 특징은 집중적인 호우도 간간이 있었지만 하루 종일 강우가 지속되었다는 점이다.

3.3.3. 3차 분석결과

유입 SS의 평균 농도는 2,876 mg/L이었고 유출 SS의 평균농도는 1,109 mg/L로서 약 61%의 처리효율을 보였다. 밭에 내린 강우총량은 약 653 m³이었는데 반하여 밭에서 침사지로 유입된 표면유출량은 약 119 m³으로서 약 18%의 흙탕물이 침사지를 경유하여 하천으로 유출되었다. 2008년 강우 특성은 이 날 이후 30 mm 이상의 일 강우량을 보인 날이 없다는 점이었다. 5월~10월까지 사업 현장에 내린 비의 양은 840 mm로서 평년보다 적은 수준이었다. Fig. 14는 모니터링으로 얻은 침사지 유입수와 유출수의 SS, 그리고 유량(표면유출량)의 변화를 도시한 것이다.

3.3.4. 강우사상별 SS 처리 효율

흙탕물은 SS의 농도를 높이는 주요한 요소이고 밭과 같

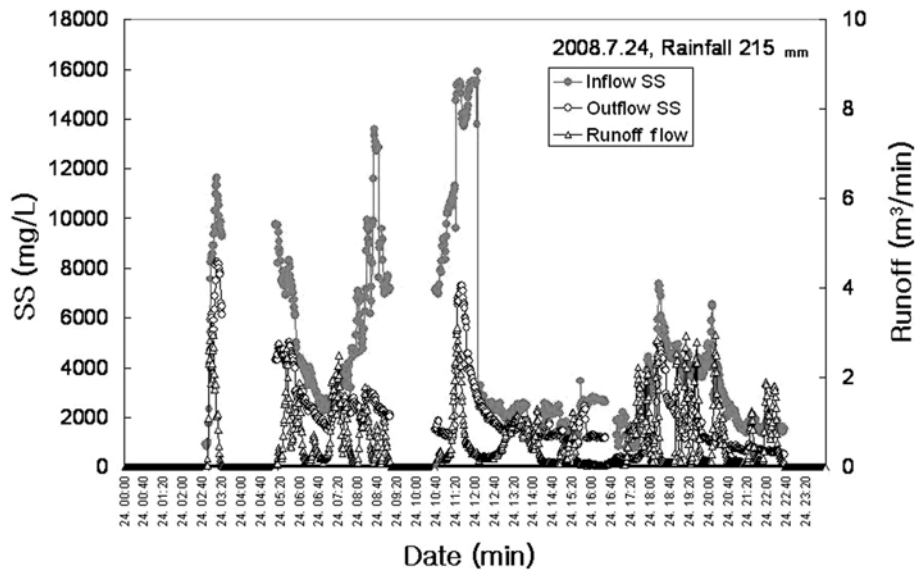


Fig. 13. Comparison of inflow and outflow SS concentration on Jul. 24, 2008.

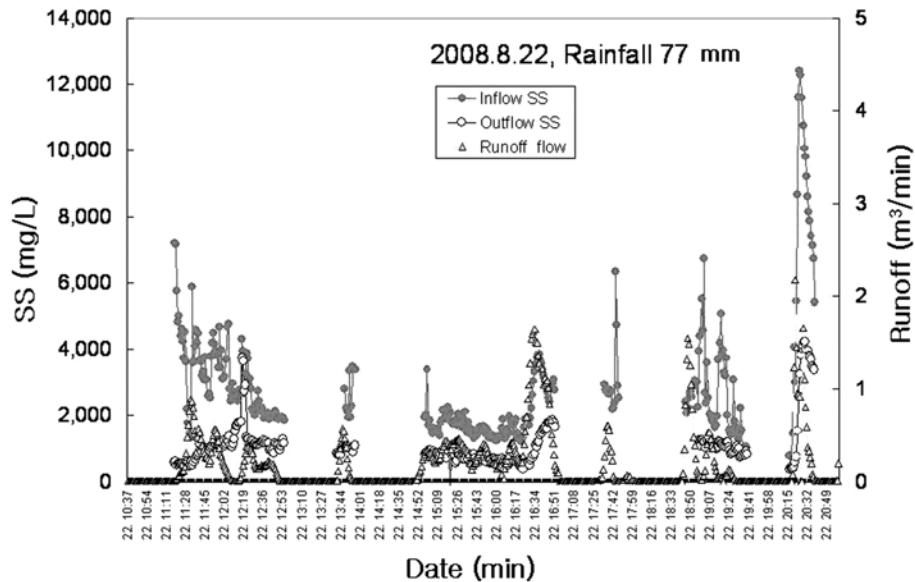


Fig. 14. Comparison of inflow and outflow SS concentration on Aug. 22, 2008.

은 나대지에 강우가 내릴 때 발생한다. 흙탕물 저감 효과에 대한 평가 시 SS의 처리효율에 대한 평가는 다른 항목보다 우선한다. Table 3에서와 같이 유입수의 강우량이 적어서 유출수가 발생하지 않았을 때 침사지 유입수의 일별 평균 SS농도는 364.0~2,295.0 mg/L의 범위였다. 유출수가 발생했을 때 침사지 유입수의 일별 평균 SS농도는 759.0~4,370.0 mg/L의 범위였고, 이때 유출수의 SS농도는 244.0~2,011.0 mg/L의 범위였다. 전체적으로 SS의 처리효율은 약 54~68%의 범위였다. 1년 평균으로는 약 61%의 SS의 처리효율을 보였다. Fig. 15는 유입수와 유출수의 SS 변화를 도시한 것이다. 유입수의 SS 농도가 높을수록 유출수의 SS 농도도 증가하는 경향이였다.

3.4. 수질분석결과

3.4.1. 1차 수질 분석 결과

여름 장마가 2008년 6월 17일 제주도를 중심으로 시작되고, 침사지 설치 지역에도 6월 18일 집중호우가 시작되는 것으로 예보되어 현지 출장 조사하였다. 침사지 사업지구의 강우량은 41.5 mm이었다. 2008년 6월 18일 하루 동안 사업 구역의 고령지 밭에서 약 21 m³의 흙탕물이 발생되어 침사지로 유입되었다. 10:30분에서 11:30 사이에 집중호우가 있었고 그때 채수한 시료의 분석결과 유입수의 SS는 4,558 mg/L, 유출수의 SS는 910 mg/L로서 처리효율 80%를 나타냈다(Table 5). 16:20분에서 17:20 사이에 다시 집중호우가 있었고 그때 채수한 시료의 분석결과 유입수의 SS는 3,427 mg/L, 침사지1 유출수의 SS는 1,550 mg/L, 침사지2 유출수의 SS는 950 mg/L를 나타냈다.

침사지에 유입되는 흙탕물의 양이 미량일 경우에는 유량

Table 4. Daily SS variation and removal efficiency

Date	Rainfall (mm)	Inflow SS (mg/L)	Outflow SS (mg/L)	SS Removal Rates (%)
6.5	17.0	-	-	-
6.18	41.5	1,358	544	59.9%
7.3	16.0	2,295	-	-
7.13	23.0	2,516	965	61.6%
7.15-7.16	29.0	3,472	1,112	68.0%
7.19-7.20	75.0	3,867	1,505	61.1%
7.24	215.0	4,370	2,011	54.0%
7.25	21.0	725	-	-
8.02	24.0	759	244	67.9%
8.03	27.0	2,226	880	60.5%
8.12	31.0	2,983	1,203	59.7%
8.16	16.5	-	-	-
8.18	39.5	1,808	684	62.2%
8.22	77.0	2,876	1,109	61.4%
8.23	16.5	449	-	-
9.01	26.0	-	-	-
9.02	16.0	364	-	-
etc.	129.0	-	-	-
Total	840.0	2,624	1,026	60.9%

계와 SS계로 계측이 되지 않는다. 현지 조사한 경험에 근거하면 이때 SS 농도는 약 300 mg/L 이하 수준이다.

3.4.2. 2차 수질분석결과

2008년 7월 20일 15:30~16:00 사이 집중호우 시 발생한 흙탕물을 현장에서 채수한 결과 Table 6과 같다. 유입수 대비 제1침사지까지 SS 제거효율은 약 59.0%였고, 제2침사지까지 SS 제거효율은 약 78.0%이다. SS와 탁도, T-N과 T-P

Table 5. Water quality results at inflow, outflow 1 and 2 (2008. 6. 18)

Sites	Date & time	pH	SS (mg/L, %)	Turbidity (NTU, %)	COD (mg/L, %)	TN (mg/L, %)	TP (mg/L, %)
Inflow	6.18 10:42	7.3	4,558	3,494	137.6	7.98	4.48
Outflow 1	6.18 11:10	7.2	910(80.0)	854(75.6)	22.9(83.4)	6.91(13.4)	2.37(47.1)
Inflow	6.18 16:35	7.1	3,427	2,905	68.8	7.13	4.95
Outflow 1	6.18 16:35	7.2	1,550(54.8)	1,403(51.7)	24.3(64.7)	5.73(19.6)	3.33(32.7)
Outflow 2	6.18 17:10	7.2	950(72.3)	895(69.2)	14.3(79.2)	4.19(41.2)	2.30(53.5)

Table 6. Water quality results at inflow, outflow 1 and 2 (2008. 7. 20)

Sites	Date & time	pH	SS (mg/L, %)	Turbidity (NTU, %)	COD (mg/L, %)	TN (mg/L, %)	TP (mg/L, %)
Inflow	7.20 14:45	6.5	7,558	5,962	52.9	3.25	3.48
Outflow 1	7.20 14:45	6.5	3,125(59.7)	2,506(58.0)	35.6(32.7)	2.43(25.2)	2.53(27.3)
Outflow 2	7.20 14:45	6.6	1,670(78.5)	1,645(72.4)	21.1(60.1)	0.73(77.5)	0.95(72.7)

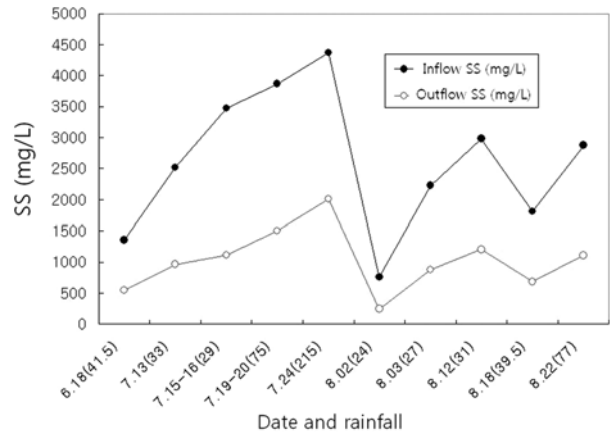


Fig. 15. Changes in Inflow and Outflow SS Concentration Values.

의 제거효율이 서로 유사한 경향을 보였다.

3.4.3. 3차 수질분석 결과

사업지구인 흥천군 내면 자운4리 지역의 고령지발에는 2008년 7월 24일, 2008년도 최대 강우량인 215 mm의 강우를 기록했다. 현장에서 시료를 채수하였고 그 자료는 Table 7과 같았다.

15분 강우량이 최대였던 시점, 즉 집중호우가 내렸던 시점의 자료를 분석해보면, 03:00부터 13:15까지 15분 동안 8 mm의 호우를 보였고 이때 23 m³의 흙탕물이 발생함으로써 약 34%의 표면유출량을 나타냈다. 또한 11:15부터 11:30까지 15분동안 8.5 mm의 호우를 보였고 이때 37 m³의 흙탕물이 발생함으로써 약 51%의 표면유출량을 나타냈다. 그런데 02:45부터 03:00까지는 15분 동안 9.5 mm의 호우를

Table 7. Water quality results at inflow, outflow 1 and 2 (2008. 7. 24)

Sites	Date & time	pH	SS (mg/L, %)	Turbidity (NTU, %)	COD (mg/L, %)	TN (mg/L, %)	TP (mg/L, %)
Inflow	7.24 11:15	6.2	8,935	5,680	58.7	2.16	2.68
Outflow1	7.24 11:15	6.3	3,990(55.3)	2,280(59.9)	40.5(31.0)	1.51(30.1)	1.77(34.0)
Outflow2	7.24 11:15	6.4	2,162(75.8)	1,640(71.1)	36.4(38.0)	1.43(33.8)	1.51(43.7)
Inflow	7.24 12:10	7.1	1,775	1,625	12.8	2.09	3.33
Outflow1	7.24 12:10	6.8	790(55.8)	747(54.0)	10.7(16.4)	1.55(25.8)	2.08(37.5)
Outflow2	7.24 12:10	6.8	643(63.8)	638(60.7)	9.8(23.4)	1.24(40.7)	1.97(40.8)
Inflow	7.24 17:50	6.4	4,285	3,720	32.5	2.7	11.12
Outflow1	7.24 17:50	6.4	2,080(51.5)	1,738(53.7)	25.5(21.5)	2.19(18.9)	2.63(76.3)
Outflow2	7.24 17:50	6.4	1,095(74.4)	890(76.1)	11.7(64.0)	1.62(40.0)	1.83(83.5)

(% : removal rates)

보였는데 반해 20 m³의 흙탕물이 발생함으로써 약 25%의 표면유출량밖에 측정되지 않았다. 이것은 그 시점이 강우가 시작된 초기 시점이어서 토양 내부로 스며드는 빗물의 양이 상대적으로 많았기 때문이다. 현장에서 채취한 시료의 SS는 유출수1에서 51~56%, 유출수2에서 64~76%의 제거효율을 나타냈다. 또한 탁도는 유출수1에서 54~60%, 유출수2에서 61~76%의 제거효율을 나타냈다. SS 측정 자료는 탁도 측정 자료와 그 변화성이 유사하였으나 COD, TN, TP의 경우는 그 변화성이 유사하지 않았다. 이는 침사지 밖으로 유출되는 시료를 채취한 시점이 침사지 내로 유입되는 시료를 채취한 시점보다 늦어짐으로서 변화성이 유사하지 못한 것으로 판단된다.

3.5. 중금속 항목 분석 결과

흙탕물이 발생하면 그 속에 포함되어 있는 토사의 성분이나 고령지밭에서 유실된 비료 성분이 같이 유출된다. 토사 속에는 기본적으로 중금속 성분이 포함되어 있다. SS와 중금속 성분간의 상관성을 확인하면 이러한 상관관계를 파악할 수 있다. SS가 중금속류와는 어떤 유의성을 가지고 있는지 그 상관관계를 분석해보았다. Table 8은 현장 채수 시료의 중금속 항목 분석 결과이다. 상관관계 분석에는 2008. 7.24에 침사지 유입수와 유출수 1, 유출수 2, 연구지역내 발생한 유출수가 유입되는 하천수 1, 하천수 2 등을

분석한 결과값을 사용하였다.

R²값으로 상관성을 평가한 결과, SS-Fe는 0.644, SS-Mn은 0.876, SS-Al은 0.945, SS-Si는 0.926으로서 유의적인 상관성을 보였다(Fig. 16).

흙탕물의 총량을 저감하는 것이 유기물질과 영양염류의 일부, 그리고 중금속 성분 등 탁수와 함께 유출되는 성분도 저감시킨다는 사실을 확인하였다.

4. 결론

본 연구의 목적은 침사지를 이용하여 고령지 밭의 유입 흙탕물량, 강우량, 유입수와 유출수의 부유물질량을 측정하고, 침사지의 처리효율과 중금속 저감효과를 산정하는데 있다.

본 연구의 결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.

- 1) 연구 기간 중 작물의 생육 정도, 강우의 연속성 등에 따라 그 경향이 달랐지만 대략 10 mm/일 이상의 강우 시 흙탕물의 발생이 시작되었다. 일 강우량이 215 mm로서 최대치를 보였던 7월 24일에 약 3 m³의 토사가 침전되어 가장 많은 토사가 침전되었으며, 2008년도 전체 연구기간 중 침사지 내에는 약 6.1 m³(약 16톤, 비중 약 2.6)의 토사가 침전된 산정되어 침사지의 효과를 확인하고 계량할 수 있었다.

Table 8. Heavy metals (Fe, Mn, Al, Si) concentrations in turbid water

(unit : mg/L)

Sites	Date and time	Fe	Mn	Al	Si
Inflow	7.24 11:15	15.29	4.86	35.99	23.56
Outflow 1	7.24 11:15	13.74	3.88	30.31	20.68
Outflow 2	7.24 11:15	12.95	3.64	28.66	20.25
Stream 1	7.24 11:30	13.29	2.70	24.71	19.27
Stream 2	7.24 11:30	20.20	3.55	59.52	31.63
Inflow	7.24 12:10	7.36	1.23	12.35	9.92
Outflow 1	7.24 12:10	6.33	1.05	9.51	8.26
Outflow 2	7.24 12:10	6.17	0.98	9.05	8.00
Stream 1	7.24 12:10	7.52	1.12	10.46	10.99
Inflow	7.24 17:50	12.97	3.13	25.70	18.52
Outflow 1	7.24 17:50	10.04	2.39	19.12	14.44
Outflow 2	7.24 17:50	7.92	1.46	12.15	10.23
Stream 1	7.24 17:50	8.11	1.40	13.59	12.51

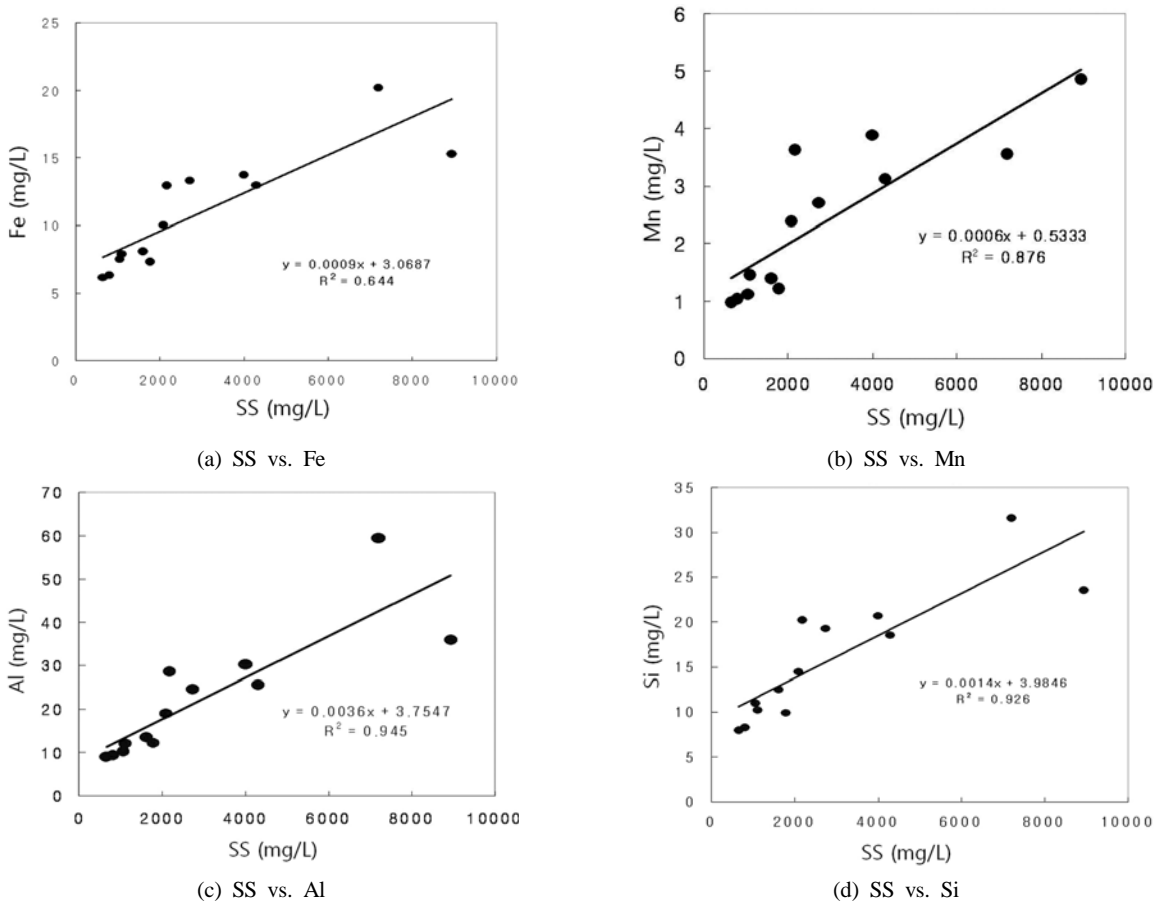


Fig. 16. Relationship between SS and Fe, Mn, Al, Si.

- 2) 강우량이 많을수록 흙탕물의 SS 농도가 증가하였다. 침사지 유입수의 강우사상별 평균 SS농도는 759~4,370 mg/L의 범위였고 이때 유출수의 SS농도는 244~2,011 mg/L의 범위였다. 전체적으로 SS의 처리효율은 약 54~68%의 범위로서, 1년 평균으로는 약 61%의 SS의 처리효율을 보였다.
- 3) SS가 중금속류와 어떤 유의성을 가지고 있는지 그 상관성(R^2)을 평가한 결과, SS-Fe는 0.644, SS-Mn은 0.876, SS-Al은 0.945, SS-Si는 0.926으로서 유의적인 상관성을 보였다. 흙탕물의 총량을 저감하는 것이 유기물질과 영양염류의 일부, 그리고 중금속 성분 등 탁수와 함께 유출되는 성분도 동시에 저감시켰다.

본 연구의 결과에서 보이는 바와 같이 침사지를 이용하여 고령지밭에서 발생하는 유사, 오염물질, 중금속 등 수생태계 환경을 파괴시키는 요인을 저감시킬 수 있다. 또한, 침사지 내부구조물을 단순화하면서 침사효율을 저하시키지 않는 방안을 모색하고 기능적인 미비점을 보완한다면 토양 유실 저감 대책으로서 활용도가 클 것으로 기대된다.

참고문헌

김익재, 이병국, 최지용, 한대호(2007). 수생태계 보호를 위한 토사관리 방안. 한국환경정책·평가연구원.

박철수(2002). 고령지 농경지의 유실방지를 위한 토양관리 방법. 박사학위논문, 강원대학교.

이광래, 임재명(1996). 환경공학, 동화기술.

허성구, 전만식, 박상헌, 김기성, 강성근, 우용식, 임경재 (2008). 고령지 농업의 작물별 객토량 변화에 따른 토양 유실 저감 분석. 수질보전 한국물환경학회지, 24(2), pp. 185-194.

환경부 수질보전국(2004). 고령지밭 비점오염 저감을 위한 종합대책.

Chen, C. (1975). Design of Sediment Retention Basin. *National Symposium on Urban Hydrology and Sediment Control*, Univ. of Kentucky, pp. 28-31.

Curtis, D. C. and McCuen, R. H. (1997). Design Efficiency of Stormwater Detention Basins, *Journal of the Water Resources Planning and Management Division. ASCE*, 103(1), pp. 125-140.

Davis, W. J., William, E. B., and Lewis, H. W. (1977). Trap Efficiency of Sediment Basin below Construction Site, A Practical Case Study, *Proc. International Symposium on Urban Hydraulics and Sediment Control*, Univ. of Kentucky, pp. 241-246.

Ferrara, R. A. (1982). Stormwater detention and Nonpoint Source Pollution Control. *International Symposium Hydrology. Hydraulics and Sediment Control*. Univ. of Kentucky. pp. 91-97.