

고랭지유역의 강우특성에 의한 하천탁도 발생에 관한 연구

A study on the Development of River Turbidity by the Rainfall Properties in the Watershed of Highland-agriculture

최한규* · 김종욱** · 오기호*** · 박수진****

Choi, Han Kuy · Kim, Joung Ouk · OH, Ki HO · Park, Soo Jin

Abstract

This study inquired into changes of turbidity of a river depending on the rainfall characteristics of each month through investigating the water quantity and turbidity of Jawoonchun drainage basin in the upper reaches of Soyangho (lake) for the year of 2005. It could be seen from the study that high turbidity occurred during the period from May to August due to rainfall intensity and rainfall duration. On the other hand, it could be confirmed that turbidity was constantly low after September because of early cleansing effect of rainfall. Next, the influence of controlling factors of turbidity was looked into. For May and June, it was 89% rainfall intensity among the controlling factors, for July and August, it was 67% rainfall intensity and 32% rainfall duration that was confirmed to have influence over the occurrence of turbidity. In addition, regression analysis was carried out about the controlling factors that had influence over the occurrence of turbidity and regression equation was suggested.

Keywords: Turbidity, Rainfall intensity, Rainfall duration time, Correlation analysis

요 지

본 연구는 소양호 상류유역의 자운천 유역을 대상으로 2005년 1개년동안 유량과 탁도를 조사하여, 월별로 강우특성에 따른 하천의 탁도가 변화하는 양상을 고찰하였다. 고찰결과, 5월 ~ 8월에 강우강도 및 강우지속시간에 의하여 높은 탁도가 발생하는 것을 알 수 있었으며, 반면 9월 이후에는 강우의 초기 세척효과로 인하여 탁도가 낮게 지속적으로 발생하는 것을 확인하였다. 다음으로 탁도에 대한 지배인자의 영향력을 살펴보았으며, 5월, 6월에는 지배인자중 강우강도가 89%, 7월, 8월에는 강우강도가 67%, 강우지속시간이 32%로 탁도 발생에 유의적인 영향을 미치고 있는 것을 확인하였다. 또한 탁도 발생에 영향력 있는 지배인자에 대하여 회귀분석을 실시하여 회귀식을 제안하였다.

핵심용어 : 탁도, 강우강도, 강우지속시간, 상관분석

1. 서 론

오염물질의 유출은 일반적으로 강우 시 지표 유출수와 함께 유출되기 때문에 배출량의 변화가 크고 예측이나 정량화가 어렵다. 또한, 기상조건, 지질 및 지형, 토지이용도, 식생 상태 등의 영향을 받아 인위적으로 조정하기 어려운 실정이다. 특히 비점오염원은 강우량과 밀접한 관계가 있어 전체 비점오염원은 건기인 10월에서 4월까지의 연간 총량의 약 20%, 5월에서 9월까지의 약 80%가 유출되기 때문에 하천의 탁도 발생이 높아지고 수질이 악화된다. 본 연구는 유역의 70%가 산지로 형성 되어 있으며 고랭지 채소재배 단지인 소양호 상류유역의 자운천 유역을 대상으로 우수유출에 따른

하천 탁도 발생을 살펴보기 위하여 2005년 1개년동안 유량과 하천의 탁도를 조사하여, 월별로 강우특성에 따른 하천 탁도가 변화하는 양상을 고찰하였다. 또한 탁도에 영향을 주는 인자 중 강우강도, 강우지속시간을 대상으로 상관분석 및 회귀분석 등 통계학적 검증방법을 실시하여 연구지점 유역의 강우특성에 따른 하천의 탁도를 예측할 수 있는 회귀식을 개발하여 제안하였다.

2. 대상유역 선정 및 자료조사

2.1 대상유역 선정

오염물질의 유출은 유역의 특성 및 기상조건, 토지이용형태

*정회원 · 강원대학교 토목공학과 교수 (E-mail: hankuy@kangwon.ac.kr)

**강원도 인제군 상하수도 사업 소장

***강원도 개발공사 토목사업본부장

****정회원 · 강원대학교 대학원 토목공학과 박사과정 수료

에 따라 오염물질의 유출이 크게 차이가 나기 때문에 정확한 오염원 조사 및 지점을 선정하기는 어려운 실정이다. 본 연구는 소양호 상류유역으로 유역의 형태가 산지와 농경지로 이루어져 있으며, 농경지는 대부분 고랭지 채소재배 단지로 농업활동을 위한 대량의 객토로 인하여 강우기간 동안, 부유물질의 유출로 높은 하천 탁도가 발생하는 홍천군 내면 자운천 유역을 선정하여 본 연구를 수행하였다. 아래 표 1은 연구지점의 유역특성 및 토지이용 현황을 나타내었다.

2.2 자료조사

2.2.1 강우자료 조사

연구지점의 강우자료 조사를 조사하기 위하여 연구지점 유역에 영향을 주는 창촌 우량관측소를 선정하여 연구기간 동안의 강우자료를 수집하였다. 연구지점의 연평균 강우량은 1,531 mm로 조사 되었으며, 조사기간의 강우량 자료는 아래 표 2와 같다.

2.2.1 수질자료 조사

본 연구는 자운천 유역의 창촌교 지점을 조사지점으로 선정하여 수질조사를 실시하였으며, 총 6차 강우사상 동안 90회에 걸쳐 수질을 조사하였다. 강우 시 기준은 유출이 발생할 수 있는 20 mm/day 이상을 강우 시로 구분하였으며, 초기 강우에서 강우 종료 시 수위가 강우 전 상태를 기준으로 하여 조사를 하였다. 조사지점에서 채수된 시료는 냉장보관 후 수질오염공정시험법에 준하여 측정하였다.

3. 분석 및 고찰

3.1 도달시간 산정

조사 당시 영향을 준 강우자료를 수집하기 위하여 Kirpich, Rziha, Kraven1, Kraven2 방법을 이용하여 도달시간을 산정하였으며, 유역특성 및 실측 유속을 고려하여 Kraven2 공식에 의해 산정된 80분을 채택하여 본 연구에 적용하였다. 각 산정방법에 의해 산정된 도달시간은 표 3에 나타내었다.

3.2 측정자료 선별

탁도는 대부분 강우초기에 부유물질에 의해 하천에 유입되어 발생하므로 실측된 자료를 전부 이용하여 분석할 경우, 분석결과와 신뢰도를 저해하는 요인이 발생 될 수 있으므로 강우에 따른 수문곡선의 상승부를 기점으로 잡아 수질자료를

표 2. 조사기간 및 강우량

조사년도	강우사상 (event)	조사기간 Date	강우량(mm)		
			강우량	연평균 강우량	연총강우량
2005년도	1	5. 18. ~ 5. 19.	25	1,531	1,291
	2	6. 26. ~ 6. 27.	225		
	3	7. 11. ~ 7. 12.	29		
	4	7. 27. ~ 7. 29.	71		
	5	8. 18. ~ 8. 20.	61		
	6	9. 13. ~ 9. 14.	55		

분류하였다. 강우자료는 앞 절에서 산정된 도달시간을 적용하여 측정당시에 영향을 준 강우자료를 선별하였다. 연구지점의 측정된 수질 및 강우강도 자료는 아래 그림 1에 도시하였다.

3.3 연구지점의 월별변동 분석

본 절에서는 탁도 발생에 영향을 주는 인자 중 강우강도를 대상으로 월별로 경향분석을 실시한 결과, 아래 그림 2에서 보는 바와 같이 5월~6월에 탁도가 강우에 크게 영향을 받아 높게 발생하는 것을 알 수 있었다. 반면 9월 이후에는 산림과 농경작지의 식생상태가 활발하게 진행됨에 따라 하천의 탁도가 낮게 지속적으로 발생하는 것을 알 수 있다. 아래 그림 2는 강우강도 및 탁도의 비를 그래프로 나타낸 것이다.

3.4 상관분석

3.4.1 강우강도 - 탁도 상관분석

탁도 발생에 영향을 주는 인자의 영향력을 알아보기 위하

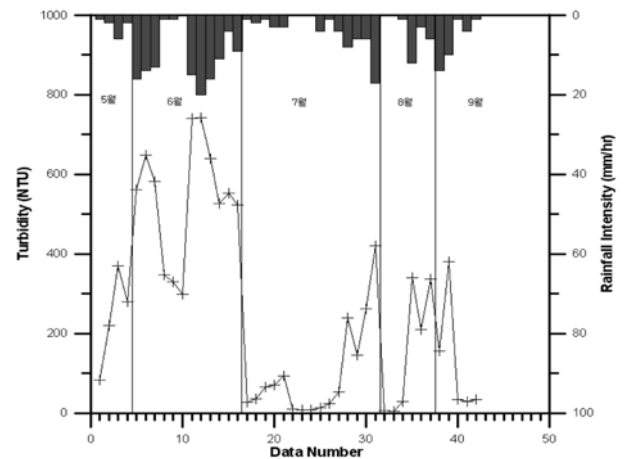


그림 1. 자운천 유역의 수질 및 강우강도

표 1. 연구지점의 유역특성 및 토지이용 현황

수계명	유역명	유역특성			토지이용 현황 (단위 : km ²)				
		유역면적 (km ²)	유로연장 (km)	유역경사	임야	대지	경작지	도로	기타
북한강	자운천	78.1	13.3	0.25	66.8	0.2	8.9	0.6	1.6

표 3. 경험공식에 의해 산정된 도달시간 및 평균유속

유로연장 (km)	유역 경사	구분	Kirpich	Rziha	Kraven I	Kraven II	비고
13.3	0.25	도달시간 (hr)	0.82	0.42	0.20	1.23	Kraven II식 적용
		평균유속 (m/sec)	4.45	8.69	18.4	3.0	

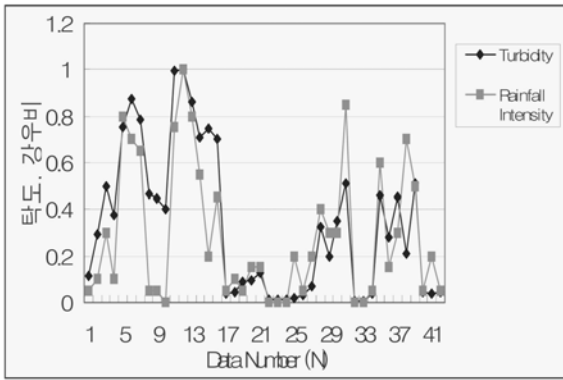


그림 2. 강우강도 및 탁도비 그래프

여 탁도 - 강우강도 간의 상관분석을 실시하였으며, 상관분석 결과 각 월별로 높은 상관성을 보였다. 5월~8월 중에는 강우강도가 부유물질 전체 변동의 85%~92%의 높은 설명력을 보였으며, 반면 9월에는 설명력이 67%로 다른 기간에 비하여 낮은 설명력을 보였다. 이는 산림 및 농경작지의 식생이 활발하게 진행됨에 따라 부유물질의 유출이 적게 일어나므로 강우강도와 탁도와의 관계가 현저하게 떨어지는 것을 알 수 있으며, 반면 5월~8월은 유역 내 객토로 인한 초기 강우 시 토사유출로 인하여 강우강도와 탁도 간의 높은 설명력을 보이는 것을 알 수 있다.

3.4.2 강우지속시간 - 탁도 상관분석

본 절에서는 강우강도 외에 탁도 발생에 밀접한 관계가 있으며 부유물질 유출에 큰 영향을 미치는 인자 중 강우지속시간에 대하여 상관분석을 실시하였다. 분석결과, 5월, 7월, 8월

표 4. 강우강도 - 탁도 상관분석

구분	자료수(N)	상관계수 (Correlation Coefficient)
5월	4	0.85
6월	12	0.91
7월	15	0.92
8월	5	0.89
9월	4	0.67

표 5. 강우지속시간 - 탁도 상관분석

구분	자료수(N)	상관계수(Correlation Coefficient)
5월	4	0.84
6월	12	0.27
7월	15	0.83
8월	5	0.74
9월	5	-0.63

에 탁도 발생 전체변동의 74% ~ 84%로 높은 설명력을 보이는 것을 알 수 있다. 이는 유역 내 토지의 산림 및 농경지의 식생이 활착되기 전, 강우지속시간이 지속됨에 따라 유역의 객토로 인한 부유물질이 지속적으로 발생하는 영향으로 인하여 강우지속시간 - 탁도의 높은 설명력을 보이는 것을 알 수 있다. 반면 9월에는 상관계수가 -0.68로 음의 상관을 보였으며, 이는 토지의 산림 및 농경작지의 식생이 활착됨에 따라 강우 초기세척 효과에 의하여 강우지속시간이 지속될수록 탁도의 발생이 낮게 발생하는 것을 알 수 있다. 강우강도가 큰 6월에는 상관계수가 0.27로 강우지속시간에 비하여 낮은 설명력을 보였다.

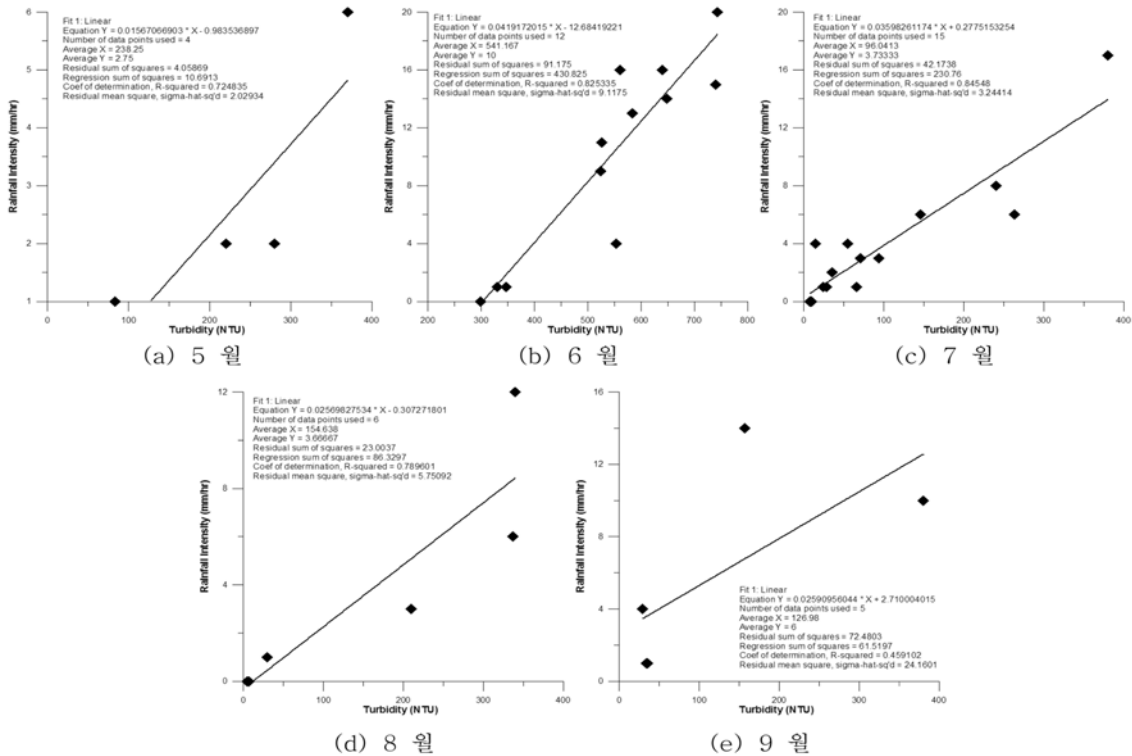


그림 3. 월별 강우강도 - 탁도 상관도

3.5 회귀분석

3.5.1 독립변수 간 상관분석

다중회귀분석을 실시하기 앞서 독립변수들 간의 높은 상관성이 나타나면 다중공산성의 문제가 발생하게 된다. 독립변수들 간의 상관관계수가 0.7이상을 보이면 독립변수들 간의 서로 같은 영향을 종속변수에게 주게 된다.

이러한 다중공산성 문제가 나타나게 되면 결정계수(R^2)는 높아지게 되나, 독립변수들 간의 회귀계수의 의미가 없어지게 됨으로 주의 하여야 한다. 이에 다중 회귀분석을 실시하기 앞서 독립변수들 간의 상관분석을 실시하였으며, 상관분석결과 상관관계수가 0.20으로 다중공산성 문제는 발생하지 않았다.

표 6. 독립변수 간 상관분석

구분	강우 강도	P-value	강우지속시간	P-value
강우강도	1	0.000	0.20	0.459
강우지속 시간	0.20	0.459	1	0.000

독립변수간의 상관분석결과는 표 6에 나타내었다.

3.5.2 회귀식 제안

탁도(Turbidity)의 변화에 가장 큰 영향력을 미치는 지베 인자에 대하여 영향력을 정량적으로 제시하고, 미세측시 연구 지점의 탁도를 예측할 수 있도록 회귀분석을 실시하여 회귀식을 제안하였으며, 회귀분석은 유역의 객토로 인하여 초기 강우에 부유물질에 의하여 탁도가 발생하는 점 및 자료의 개수를 고려하여 초기강우인 6월을 기준으로 회귀식을 제안하였다. 회귀분석은 먼저 두 인자에 대하여 다중회귀분석을 실시하였다. 5월, 6월에는 결정계수가 0.91로 높게 나타났으나, 독립변수인 강우지속시간에서 신뢰구간 95%일 때 p-value값 0.069로 통계치가 모수치를 대표함에 있어 오차가 5%이상임을 의미하므로 종속변수에 미치는 영향이 무의미함을 알 수 있다. 따라서 회귀분석시 강우지속시간 변수를 배제 시킨 후 회귀분석을 실시하였다. 강우지속시간을 배제 시킨 후 회귀분석 결과는 표 8에 나타내었다. 7월, 8월에는 결정계수가

표 7. 다중 회귀분석 (5월,6월)

계 수(Coefficient)						
변수	B (회귀계수)	β (표준화 계수)	T-value	P-value	Tolerance	VIF
Constant	176.253	-	3.297	0.006	-	-
Rain fall intensity	23.979	0.841	7.337	0.000	0.960	1.041
Rain fall duration	0.215	0.227	1.981	0.069	0.960	1.041
분산분석(Analysis of variance)						
Model	Sum of squares	df	Mean squares	F-value	P-value	
SSR	471419.623	2	235709.811	33.094	0.000	
SSE	92590.315	13	7122.332	-	-	
SST	564009.938	15	-	-	-	
회귀식(Regression equation)						
$y = 176.253 + 23.979x_{\text{강우강도}} + 0.215x_{\text{강우지속시간}}$						
Model Summary						
R	R-square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate			
0.914	0.836	0.811	84.39391			

표 8. 회귀분석 (5월, 6월)

계 수(Coefficient)					
변수	B (회귀계수)	β (표준화 계수)	T-value	P-value	
Constant	258.536	-	6.987	0.000	
Rain fall intensity	25.270	0.887	7.176	0.000	
분산분석(analysis of variance)					
Model	Sum of squares	df	Mean squares	F-value	P-value
SSR	443461.698	1	443461.698	51.502	0.000
SSE	120548.239	14	8610.589	-	-
SST	564009.938	15	-	-	-
회귀식(Regression equation)					
$y = 258.536 + 25.270x_{\text{강우강도}}$					
Model Summary					
R	R-square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate		
0.887	0.786	0.771	92.79326		

표 9. 다중 회귀분석 (7월, 8월)

계 수(Coefficient)						
변수	B (회귀계수)	β (표준화 계수)	T-value	P-value		VIF
Constant	-1.922	-	-0.108	0.915	-	-
Rain fall intensity	19.616	0.674	5.375	0.000	0.598	1.671
Rain fall duration	0.196	0.320	2.553	0.020	0.598	1.671
분산분석(analysis of variance)						
Model	sum of squares	df	Mean squares	F-value	P-value	
SSR	268831.922	2	134415.961	44.115	0.000	
SSE	54844.551	18	3046.919	-	-	
SST	323676.472	20	-	-	-	
회귀식(Regression equation)						
$y = -1.922 + 19.616x_{\text{(강우강도)}} + 0.196x_{\text{(강우지속시간)}}$						
Model Summary						
R	R-square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate			
0.911	0.831	0.812	55.19891			

표 10. 강우강도 - 탁도 (NTU) 회귀식

구분	Regression equation	결정계수 (R^2)
5월, 6월	$y = 258.536 + 25.270x_{\text{(강우강도)}}$	0.79
7월, 8월	$y = -1.922 + 19.616x_{\text{(강우강도)}} + 0.196x_{\text{(강우지속시간)}}$	0.83

표 11. 회귀식 검증

구분	회귀식에 의해 추정된 탁도 (NTU.)	2006년도 실측 탁도 (NTU.)	편 차 (NTU.)	편차율 (%)	비고
5월, 6월	410	394	16	6	06. 5. 6. 실측값
7월, 8월	668	865	-197	29	06. 7. 27. 실측값

0.91로 91%가량이 회귀식과 적합한 관계를 갖는 것을 알 수 있었다. 또한 회귀식이 통계학적으로 유의한지를 알아보기 위하여 유의성 검증을 하였으며, 그 결과, 신뢰구간 95%일 때 p-value 값이 0.000으로 이 회귀식이 매우 유의한 것을 확인할 수 있었다. 마지막으로 회귀식의 다중공산성 문제는 Tolerance(공차한계)와 VIF(분산팽창요인)의 값을 기준으로 파악할 수 있는데, Tolerance는 1이하의 값, VIF는 10이하이며, 1에 가까울수록 다중공산성이 낮다고 할 수 있다. 아래 표 11에서 보는 바와 같이 Tolerance가 0.598로 1이하의 값을 보였으며, VIF는 1.671으로 10이하의 값을 나타내었으므로 다중공산성 문제가 해결된 것을 확인할 수 있다.

3.5.2 회귀식 검증

본 연구에서 제안한 회귀식 검증을 위하여 2006년도에 조사된 탁도 측정치와 비교·검증하였다. 검증 결과, 6%와 29%의 편차를 보였으며, 지속적으로 자료를 축적하여 회귀식의 신뢰성을 향상한다면 하천 탁도 추정을 위한 간편식으로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 소양호 상류유역의 자운천 유역을 대상으로 하 고랭지유역의 강우특성에 의한 하천탁도 발생에 관한 연구

천, 호소의 부영양화 및 하천의 용존산소량을 고갈시키는 탁도에 대하여 강우특성에 따른 탁도를 관찰하고, 통계학적 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 월별로 탁도 변동을 분석한 결과, 홍수기전인 5월과 6월에서 강우에 의해 부유물질이 크게 유출됨에 따라 탁도가 높게 발생하는 것을 알 수 있었으며, 반면 9월 이후에는 강우에 의한 초기 세척효과로 인하여 탁도가 낮게 지속적으로 발생하는 것을 알 수 있었다.
- (2) 탁도에 대한 지배인자의 상대적 영향력을 살펴본 결과, 강우강도의 경우 5월, 6월에는 89%, 7월, 8월에는 강우강도가 67%, 강우지속시간이 32%로 탁도 발생에 유의적인 영향을 미치고 있는 것을 알 수 있다.
- (3) 상관분석 및 회귀분석 등을 통하여 탁도 발생에 민감한 강우강도 및 강우지속시간에 대하여 월별로 따른 회귀식을 제안할 수 있었다.

참고문헌

- 김한태 (1993) 농촌지역에서의 수질오염 특성에 관한 연구, 석사학위논문, 서울대학교.
- 박수진 (2005) 소양호 상류유역의 비점오염원 유출특성에 의한 원 단위 산정, 석사학위논문, 강원대학교.
- 박재용 (2006) 미계측 유역의 부유물질 예측을 위한 다중회귀식

개발, 석사학위논문, 강원대학교.
 윤인규 (2006) 자운천 유역의 강우강도에 의한 부유물질 유출특성에 관한 연구, 석사학위논문, 강원대학교.
 이진태 (2005) 만대천 유역의 강우에 의한 비점오염물질 유출특성에 관한 연구, 석사학위논문, 강원대학교.
 한국수자원공사 (2005) 소양강댐 상류(내린천 유역)비점오염물질 유입특성 및 저감방안 연구(1차년도). 한국수자원공사 소양강댐 관리단.

Kim, Y. H. (1998) *A study on the transport of turbid storm runoff and its effect in Lake Soyang*, M. S. Thesis., Kang. Nat. Univ.

- ◎ 논문접수일 : 2008년 02월 13일
- ◎ 심사의뢰일 : 2008년 02월 13일
- ◎ 심사완료일 : 2008년 04월 22일