

## 자운천 유역의 강우특성에 의한 하천 탁도 발생에 관한 연구

### A Study on the Development of River Turbidity by the Rainfall Characteristics in the Watershed of Jawoon-cheon

김 종 옥\*      박 수 진\*\*      최 한 규\*\*\*  
Kim, Jong-Uk      Park, Soo-Jin      Choi, Han-Kuy

#### Abstract

This research investigates the turbidity and flow of river for an year, 2005, in order to examine the relation of the generation of turbidity according to the outflow of rain water. For this research, the region of Jawoon river where is the area of high land vegetable growing in the upper Soyang Reservoir is selected to observe actual floating materials that generate negative nutrition and turbidity of the Reservoir water and the changes of water quality by raining of each month. In addition, the researcher has conducted statistical inspection methods, such as correlation analysis and regression analysis on strength of raining force, and rain continuance time among the elements affecting the outflow of floating materials.

키워드 : 탁도, 강우강도, 강우지속시간, 상관분석, 회귀분석

Keywords : turbidity, rain fall intensity, rain fall furation time, correlation analysis, regression analysis

#### 1. 서론

하천 및 호소수 수계로 유출되는 오염물질의 발생원은 크게 점오염원과 비점오염원으로 구분할 수 있다.

점오염원은 주로 가정 하수와 공장폐수에 의해 배출되는 오염원으로, 배출특성은 일정한 지점에서 일정한 양으로 지속적으로 배출되어 강우시나 비강우시에 배출량이 크게 변동이 없다. 현재 우리나라에서는 도시하수종말처리장, 산업폐수처리장 등의 점오염원 처리 시설을 대폭 확충하고 있으나,

하천 수 및 호소수의 수질은 크게 향상되지 못하고 있는 실정이다.

이는 비점오염원의 영향으로 비점오염원은 면으로 분포하는 오염원으로 주로 강우시 지표유출수와 함께 유출되는 오염물질이다. 주로 도시지역의 먼지와 쓰레기, 농지에 살포된 비료 및 농약, 토양 침식물, 축사유출물, 자연동식물의 자연물, 대기오염물질의 강하물 등으로 분포되는 오염원이다. 비점오염물질은 일반적으로 강우 시 지표 유출에 의해 유출되기 때문에 일간 계절 간 배출량의 변화가 크고 예측과 정량화가 어렵다. 우리나라에서도 비점오염원 조사 결과를 살펴보면 단위면적당 오염부하는 도시지역이 크지만 오염총량에의 기여율은 축산을 포함한 농업활동이 가장 크다. 그러나 농업지역에서 배출되는 비점오염원의량은 정확한 기작의 분석이 안되고 있으며, 특히 비료, 농약의

\* 강원대학교 산업대학원 토목공학과 공학석사

\*\* 강원대학교 대학원 토목공학과 박사과정

\*\*\* 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사

사용증가에 따라 영양염 및 유해물질에 의한 수질 영향이 갈수록 문제가 되고 있다. 특히 농촌지역의 소하천 오염에 따른 수질악화가 문제시됨에 따라 농업비점오염원의 성상, 농업지역특성을 고려한 비점오염원의 합리적인 조사, 개별적인 연구가 필요한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 소양호 상류유역의 농업지역의 고랭지 채소 재배가 활발히 이루어지고 있는 자운천 유역을 선정하여 하천의 용존산소량을 고갈시키며, 부양양화를 일으키는 탁도를 대상으로 탁도 발생에 영향을 주는 인자에 대하여 상호 연관성 및 경향을 분석, 하천탁도의 효율적인 관리를 위한 기초 자료를 제공하는데 본 연구의 목적이 있다.

## 2. 대상유역선정 및 자료조사

### 2.1 대상유역선정

오염물질의 유출은 유역의 특성 및 기상조건, 토지이용형태에 따라 오염물질의 유출이 크게 차이가 나기에 정확한 오염원 조사 및 지점을 선정하기는 매우 어려운 실정이다.

정확한 오염원을 조사하기 위해서는 소단위의 토지이용도를 나누어 각 토지 이용별로 조사, 하천 탁도 발생을 명확히 규명하여 탁도의 발생 변화를 파악하여야 한다. 그러나 이 연구방법은 많은 조사시간, 인력, 예산이 필요하기 때문에 개연성이 떨어지는 단점이 있다.

본 연구는 소양호 상류유역으로 유역내 농업활동이 활발히 이루어지고 있는 고랭지 채소재배단지로서 유역내 농업활동을 위여 대량의 객토를 하여 강우시 기간에 객토로 인한 부유물질의 유출로 인하여 강우기간의 하천의 높은 탁도가 발생하는 자운천 유역을 선정하여 본 연구를 수행하였다.

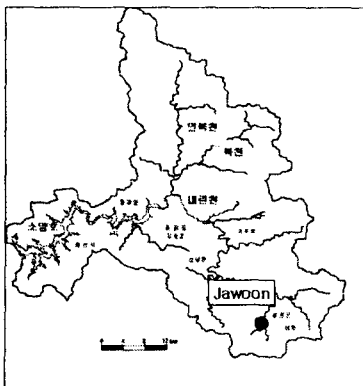


그림 1 소양호 유역의 주요 하천수계 및 연구지점

### 2.2 강우자료 조사

본 연구지점의 강우자료를 조사하기 위하여 연구지점 유역에 영향을 주는 유역내 창촌 우량관측소를 선정하여 연구기간동안의 강우자료를 수집하였다. 연구지점의 우량관측소 제원은 표 1과 같으며, 조사기간의 강우량 자료는 표 2와 같다.

표 1 우량관측소 제원

관측소	위 치			관 측 개시일	관 할 판서명	비고
	지명	동경	북위			
창촌	홍천군 내면 창촌리	128°22'55"	37°45'57"	1972.8	한국수자원공사	자운천 유역내

표 2 조사기간 및 강우량

조사년도	강우사상(event)	조사기간 Date	강우량(mm)		
			조사기간 강우량	연평균 강우량	연총강우량
2005 년도	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		

### 2.3 연구지점 선정 및 수질조사

하천 탁도는 유역의 토지이용도나 식생상태에서 다양하게 일어나며, 강우강도, 지형 유역여건, 부유물질 유출 등에 따라 큰 영향을 받기 때문에 어느 정도의 측정간격이 최적인지 결정하기가 상당히 어렵다. 또한 탁도는 유역내 부유물질의 유출에 영향을 크게 받기 때문에 유출의 특성을 충분히 파악할 수 있도록 유출시간, 강우의 상태, 강우에 따른 부유물질 등과 같은 오염물질의 유출 특성을 고려하여야 한다.

본 연구에서는 소양호 상류유역의 자운천 창촌교 조사지점으로 선정하였다. 오염원의 유출을 신뢰성 있게 파악하기 위하여 자운천 유역의 하류지점을 선정하여 2005년 1개년동안 총 6차에 강우사상동안 90회에 걸쳐 수질을 조사하였다. 강우시 기준은 유출이 발생할 수 있는 20mm/day 이상을 강우시로 구분하였으며, 초기강우에서 강우종료시 수위가 강우전 상태를 기준으로 하여 측정을 하였다. 분석항목 및 분석방법은 표 3에 도시하였다.

표 3 분석항목 및 분석방법

조사항목	분석 방법
수온	수온온도계로 현장측정
DO	azide modification
BOD	20℃ 암실 5일간 배양 후 용존산소 농도차로 계산
T-N	전처리 persulfate digestion법/ 측정 cadmium reduction법
T-P	전처리 persulfate digestion법으로 전처리 하고 ascorbic acid 법으로 측정
SS	GF/F로 여과 후 105℃에서 건조하여, 건조하기 전·후 무게차로 계산

### 3. 분석 및 고찰

#### 3.1 도달시간 산정

조사당시 부유물질 유출에 영향을 준 강우자료를 수집하기 위하여 Kirpich, Rziha, Kraven1, Kraven2 방법을 이용하여 도달시간을 산정하였으며, 도달시간에 따른 평균유속을 고려하여, 본 연구에서는 Kraven2 공식에 의해 산정된 80분을 채택하여 적용하였다. 경험공식에 의해 산정된 도달시간은 표 4에 나타내었으며, 도달시간별 평균 유속은 표 5에 나타내었다.

표 4 경험공식에 의한 도달시간 산정

유로 연장 (km)	유역 경사	도달시간(hr)			
		Kirpich	Rziha	Kraven	Kraven II
13.3	0.25	0.82	0.42	0.20	1.23

표 5 도달시간별 평균유속 산정

평균유속(m/sec)			
Kirpich	Rziha	Kraven	Kraven II
4.45	8.69	18.4	3.0

#### 3.2 측정자료 선별

탁도는 대부분 강우 초기에 하천에 유입되므로 실측된 자료를 전부 이용하여 분석 할 경우 분석 결과의 신뢰도를 저해하는 요인이 발생할 수 있

므로 일반적인 유출특성을 고려하여 강우에 따른 수문곡선의 상승부를 기점으로 잡아 측정된 자료를 재분류 하였다. 또한 강우자료는 앞절에서 산정된 도달시간을 적용하여 측정당시에 영향을 준 강우자료를 선별하였다. 연구지점의 측정된 수질 및 강우강도 자료는 아래 그림 2에 도시하였다.

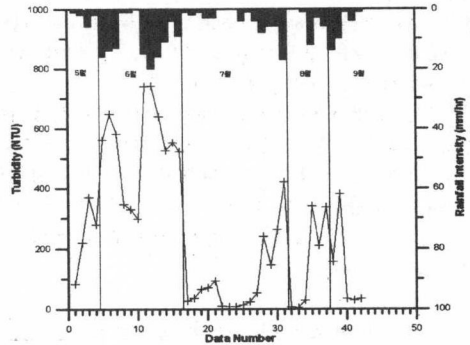


그림 2 자운천 유역의 수질 및 강우강도

#### 3.3 연구지점의 월별변동 분석

본 연구 대상지점은 유역의 토지 이용형태가 대부분 산림과 강우시 토사유출이 크게 일어나는 농경지로 구성되어있다. 하천의 탁도는 강우시 지표 유출의 영향으로 부유물질에 의해 발생되기 때문에 유역의 유출특성 및 토지형태에 따라 다르게 발생하는 특성을 가지고 있다. 본 연구에서는 하천의 탁도 발생에 영향을 주는 강우강도를 대상으로 월별로 경향분석을 실시한 결과, 아래 그림 4.2에서 보는 바와 같이 5월 ~ 6월에 하천의 탁도가 강우에 크게 영향을 받아 크게 발생하는 것을 알 수 있으며, 9월 이후에는 산림과 농경작지의 식생상태가 활발하게 진행됨에 따라 하천의 탁도가 낮게 발생하는 것을 알 수 있다. 아래 그림 3은 강우강도 - 연구지점 탁도의 발생을 그래프로 나타내었다.

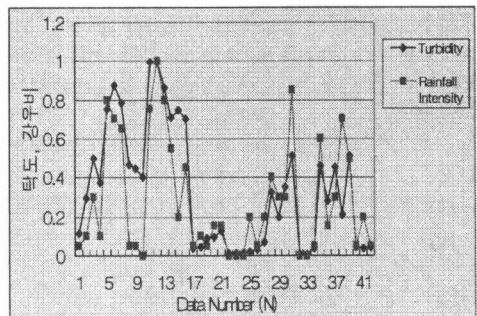


그림 3 강우강도-탁도 무차원 그래프

#### 3.4 상관분석 및 회귀분석

1) 강우강도-탁도 상관분석

하천 탁도 발생에 영향을 주는 인자의 영향력을 알아보기 위하여 먼저 탁도 - 강우강도 간의 상관성 유무를 판정하기 위하여 상관분석을 실시하였다. 상관분석결과, 상관계수(R)가 5월에는 0.85, 6월 0.91, 7월 0.92, 8월 0.89, 9월에는 0.67의 범위 값을 보였으며, 신뢰구간 95%일 때 6월~8월에는 유의수준 5%안에 유의한 것을 알 수 있다. 각 월별로 높은 상관성을 보였으며, 5월~8월 중에는 강우강도가 부유물질 전체 변동의 85%~92%의 높은 설명력을 보였다. 반면 9월에는 설명력이 67%로 다른 기간에 비하여 낮은 설명력을 보였다. 이는 산림 및 농경작지의 식생이 활발하게 진행됨에 따라 부유물질의 유출이 작게 일어남에 따라 강우강도와 탁도와의 관계가 현저하게 떨어지는 것을 알 수 있다.

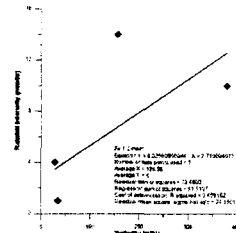


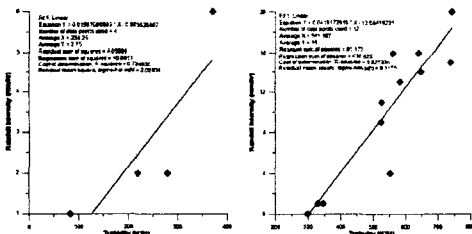
그림 4 월별 강우강도 - 탁도 상관도

표 6 강우강도-탁도 상관분석

	자료수 (N)	상관계수 (Correlation Coefficient)	P-value
5월	4	0.85	0.149
6월	12	0.91	0.000
7월	15	0.92	0.000
8월	6	0.89	0.018
9월	5	0.67	0.209

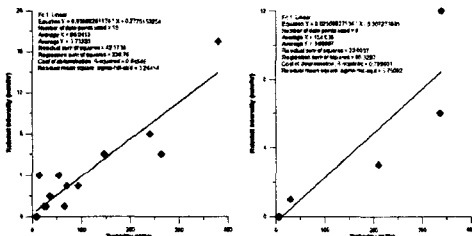
2) 강우지속시간-탁도 상관분석

하천의 탁도 발생은 강우 이외에도 토지이용형태 및 강우지속시간에 의해 다르게 나타나게 된다. 따라서 본 연구에서는 강우강도 이외 탁도의 발생에 밀접한 관계가 있는 부유물질 유출에 영향력을 미치는 인자 중 강우지속시간과 탁도에 대해서 상관분석을 실시하였으며, 상관분석 결과 상관계수(R)가 5월에는 0.84, 6월 0.27, 7월 0.83, 8월 0.74, 9월 -0.68의 범위 값을 보였으며, 5월, 7월, 8월에는 강우지속시간이 탁도 발생 전체 변동의 74%~84%로 탁도 발생에 대한 설명력이 매우 높음을 알 수 있었다. 이는 유역내 토지의 산림 및 농경지의 식생이 활착되기 전은 강우지속시간이 하천 탁도 발생에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있다. 반면 9월에는 상관계수가 -0.68로 음의상관을 보였으며, 이는 토지의 산림 및 농경작지의 식생이 활착됨에 따라 강우 초기세척효과에 의하여 강우지속시간이 지속 될수록 탁도의 발생이 낮게 지속적으로 일어나는 것을 알 수 있다. 그러나 강우량이 큰 6월에는 강우지속 시간은 강우강도에 비하여 낮은 설명력을 보였다. 가설검정에서는 신뢰구간 95%일 때 7월은 유의확률이 0.0%로 유의한 것을 알 수 있으며, 나머지 월별 구간에서 유의확률이 9%~39%로 유의하지 않았다.



(a) 5월

(b) 6월



(c) 7월

(d) 8월

표 7 강우지속시간 - 탁도 회귀분석

	자료수 (N)	상관계수 (Correlation Coefficient)	P-value
5월	6	0.84	0.16
6월	12	0.27	0.39
7월	15	0.83	0.000
8월	6	0.74	0.091
9월	5	-0.63	0.206

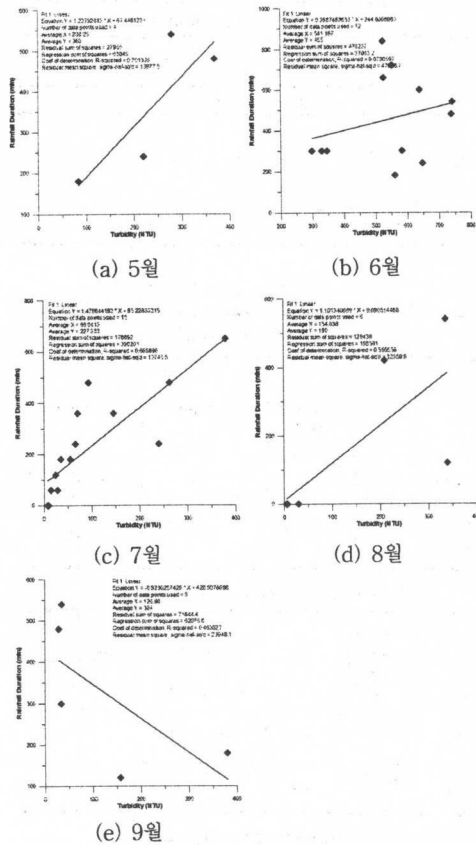


그림 5 월별 강우지속시간 - 탁도 상관도

### 3.5 회귀분석

#### 1) 독립변수 간 상관분석

다중회귀분석을 실시하기 앞서 독립변수들 간의 높은 상관성이 나타나면 다중공산성의 문제가 발생하게 된다. 독립변수들 간의 상관계수가 0.7이상을 보이면 독립변수들간의 서로 같은 영향을 종속 변수에게 주게 된다.

이러한 다중공산성 문제가 나타나게 되면 결정계수 ( $R^2$ )는 높아지게 되나, 독립변수들간의 회귀계수의 의미가 없어지게 됨으로 주의 하여야 한다. 이에 다중회귀분석을 실시하기 앞서 독립변수들간의 상관

분석을 실시하였으며, 상관분석결과 상관계수가 0.20으로 다중공산성 문제는 발생하지 않았다. 독립변수 간의 상관분석결과는 표 8에 나타내었다.

표 8 독립변수의 다중상관성 분석

구 분	강우강도	p-value	강우지속시간	p-value
강우강도	1	0.000	0.20	0.459
강우지속시간	0.20	0.459	1	0.000

#### 2) 회귀식 개발

탁도(Turbidity)의 변화에 가장 큰 영향을 미치는 지배인자의 영향력을 정량적으로 제시하고, 미계측시 연구지점의 탁도를 예측할 수 있는 회귀식 개발을 위하여 회귀분석을 실시하였다. 탁도를 종속변수로 놓고 그 이외의 변수들을 독립변수로 배치하였다. 이에 두 변수들에 대하여 먼저 다중회귀분석을 실시하였으며, 5월,6월에는 결정계수가 0.91로 높게 나타났다. 그러나 독립변수인 강우지속시간에서 신뢰구간 95%일 때 p-value값 0.069로 통계치가 모수치를 대표함에 있어 오차가 5%이상임을 의미하므로 종속변수에 미치는 영향을 무의미함을 알 수 있다. 따라서 회귀분석시 강우지속시간을 변수를 배제 시킨 후 회귀분석을 실시하였다. 7월, 8월에는 결정계수가 0.91로 91%가량이 회귀식과 적합한 관계를 갖는 것을 알 수 있었으며, 회귀식이 통계학적으로 유의한지를 알기위하여 유의성 검증을 하였다. 그 결과 신뢰구간 95%일 때, p-value 값이 0.000으로 이 회귀식이 매우 유의한 것을 확인 할 수 있었다. 마지막으로 회귀식의 다중공산성 문제는 Tolerance(공차한계)와 VIF(분산팽창요인)의 값을 기준으로 파악할 수 있는데 먼저 Tolerance는 1이하의 값, VIF는 10이하이며, 1에 가까울수록 다중공산성이 낮다고 할 수 있다. 아래 표 4.19에서 보는 것과 같이 Tolerance가 0.598로 1이하의 값을 보였으며, VIF는 1.671으로 10이하의 값을 나타내었으므로 다중공산성 문제가 해결된 것을 확인할 수 있었다.

표 9 강우강도 -탁도(NTU)농도 회귀식

구분	Regression equation	결정계수( $R^2$ )
5월	$y = 258.536 + 25.270x$ (강우강도)	0.89
6월		
7월	$y = -1.922 + 19.616x$ (강우강도) + $0.196x$ (강우지속시간)	0.83
8월		

표 10 다중 회귀분석결과(5월,6월)

계 수(Coefficient)						
변수	B (회귀계수)	$\beta$ (표준화계수)	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 11 다중 회귀분석결과(7월,8월)

계 수(Coefficient)						
변수	B (회귀계수)	$\beta$ (표준화계수)	t -value	p -value	Tolerance	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	0.832	0.812	55.19891

표 12 회귀분석결과(5월,6월)

계 수(Coefficient)

변수	B (회귀계수)	$\beta$ (표준화계수)	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

#### 4. 결론

본 연구는 소양호 상류유역의 자운천 유역을 선정, 하천 및 호소의 부영양화 및 하천의 용존산소량을 고갈시키는 탁도를 대상으로 강우강도, 강우지속시간에 대하여 탁도 발생 특성 및 경향을 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 월별로 탁도 월별변동을 분석한 결과 홍수기 전인 5월과 6월에서 강우에 의해 부유물질이 크게 유출됨에 따라 탁도가 높게 발생하는 것을 알 수 있으며, 7월 이후에 강우에 의한 초기 세척효과로 인하여 부유물질의 유출이 작게 일어남에 따라 탁도가 서서히 감소되어 지속적으로 일어나는 것일

알 수 있다.

2) 강우강도에 따른 탁도의 월별 상관분석을 실시한 결과 상관계수가 5월에는 0.85, 6월 0.91, 7월 0.92, 8월 0.89, 9월 0.67의 값을 나타냈으며, 5월~8월에는 강우강도와 탁도의 상관성이 상당히 높은 것을 알 수 있다.

3) 강우강도 이외의 강우지속시간에 대하여 상관 분석을 실시한 결과 상관계수가 5월에는 0.84, 6월 0.27, 7월 0.838, 8월 0.74의 값을 보였다. 이는 강우강도와 마찬가지로 강우지속시간 역시 탁도의 전체 변동에 크게 영향을 미치는 것을 알 수 있었으며, 반면 6월에는 상관계수가 0.27로 강우지속시간은 강우강도에 비하여 낮은 설명력을 보이는 것 일 알 수 있다.

4) 탁도에 대한 지배인자의 상대적 영향력을 살펴 보았으며, 5월 6월에는 강우강도가 89%, 7월 8월에는 강우강도가 67%, 강우지속시간이 32%로 탁도 발생에 유의적인 영향을 미치고 있는 것을 알 수 있다.

5) 탁도 발생에 민감한 강우강도, 강우지속시간에 대하여 월별로 회귀분석을 통하여 다음과 같은 회귀식을 제안하였다.

5월, 6월 :

$$Turbidity(NTU) = 258.536 + 25.270x_{(강우강도)}$$

7월, 8월 :

$$Turbidity(NTU) = -1.922 + 19.616x_{(강우강도)} + 0.196x_{(강우지속시간)}$$

6) 회귀식의 검증결과 5월, 6월은 결정계수 0.89, F-value 51.502, T-value 7.17, P-value 0.00, 7월~8월은 결정계수 0.91, F-value 44.115, T-value 2.553, 5.375, P-value 0.000으로 매우 유의하였다.

### 참 고 문 헌

- [1] 윤인규, "자운천 유역의 강우강도에 의한 부유물질 유출특성에 관한 연구", 강원대학교 산업대학원, 2006, 8.
- [2] 박재용, "미계측 유역의 부유물질 예측을 위한 다중회귀식 개발", 강원대학교 대학원, 2006.
- [3] 박수진, "소양호 상류유역의 비점오염원 유출 특성에 의한 원단위 산정", 강원대학교 대학원, 2005.
- [4] 엄재상, "소양강 상류 농업지역의 비점오염물질의 유출특성", 강원대학교 대학원, 2004.
- [5] 최한규, 백경원, 오기호, 최용목, "유량변동에 따른 소양강 유역 수질의 통계학적 해석", *대한토목학회 논문집*, 제22권 제 2-13호, pp. 117~124, 2001.
- [6] 이진태, "만대천 유역의 강우에 의한 비점오염물질 유출특성에 관한 연구", 강원대학교 산업대학원, 2005
- [7] 한국수자원공사, "소양강댐 상류(내린천 유역) 비점오염물질 유입특성 및 저감방안 연구(1차년도)", 2005.
- [8] 이윤상, "USLE모형을 이용한 농촌지역의 비점오염원 규모와 특성에 관한 연구", 서울대학교 대학원, 1992.
- [9] 김동섭, 김범철, 황길순, 박주현, "팔당호의 부영양화 경향(1988-1994)", *한국수질보전 학회지*, 제 11권 4호, pp. 295~303, 1995.
- [10] 김범철, 허우명, 황길순, 김동섭, 최광순, "소양호에서 인의 존재 형태별 분포에 관하여", *한국육수학회지*, 제 28권, pp 151~157, 1995.
- [11] 허우명, "소양호의 부영양화와 남조류 bloom에 관한 연구", 강원대학교 대학원, 1993.
- [12] 김한태, "농촌지역에서의 수질오염 특성에 관한 연구", 서울대학교 대학원, 1993.
- [13] Kim, Y. H., A study on the transport of turbid storm runoff and its effect in Lake Soyang. M. S. Thesis. Kang. Nat. Univ, 1998.
- [14] Kim, B., and Cho K.S., "The hypolimnetic anoxic zone and the metalimnetic oxygen minimum layer in a deep reservoir, Lake Soyang", *Kor. J. Limn*, 22, pp. 159 ~ 166, 1989.
- [15] Gloss, S.P., L.M. Mayer and D.E. Kidd, "Advective control of nutrient dynamics in the epilimnion of a large reservoir", *Limnol. Oceanogr*, 25, pp. 219~228, 1980.
- [16] Wanielista M. P., "Stormwater management quantity and quality", *Ann Arbor Science, Mich*, pp. 187~220, 1978.
- [17] Colston, N, V., "Characterization and treatment of urban land runoff", U.S. EPA-670/2-74-096, 1974.