

산지하천의 강우특성에 의한 부유물질 유출에 관한 연구

A Study on the Outflow of Suspend Solids by the Rainfall Characteristics in the River of Mountainous district

윤 인 규* 박 수 진** 최 한 규***
Yun, In-Guy Park, Soo-Jin Choi, Han-Kuy

Abstract

In this research, we have selected the region of Jawoon river that is the area of high land vegetable growing in the upper Soyang Reservoir and we have observed actual floating materials that generate negative nutrition and turbidity of the Reservoir water and the changes of water quality by raining of each month for one year of 2005 in order to monitor the relationship of pollution sources by the outflow of rain water. In addition, we also have 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 : 부유물질, 강우강도, 미계측, 상관분석, 회귀분석

Keywords : SS(suspend solids), rain fall intensity, unmeasurable, correlation analysis, regression analysis

1. 서론

현재 우리나라에서 수질오염에 대한 규제는 주로 하수, 공장폐수 등 점오염원을 중심으로 관리되어 왔기 때문에 수질오염원의 발생원은 점오염원에 의한 것보다는 비점오염원에 의한 광역적 오염이 더 큰 문제로 대두되고 있는 실정이다. 따라서 수질을 개선하기 위해서는 점오염원의 규제와 병행하여 비점오염원에 대한 관리가 시급하다.

오염물질의 유출은 일반적으로 강우시 유출수와 함께 유출되기 때문에 배출량의 변화가 크고, 예측이나, 정량화가 어렵다. 또한 기상조건, 지질 지형, 토지이용도, 식생상태 등의 영향을 받아서 인

위적으로 조정하기가 어려운 실정이다.

비점오염원은 강우량과 밀접한 관련이 있어 전체 비점오염원의 약 49.5%가 7~8월에 유출되며, 건기인 10월에서 4월까지의 연간 총량의 약 20%, 5월에서 9월까지의 약 80%가 유출된다. 즉 하천 강우기간에 하천의 오염부하량도 커지고 수질도 악화된다.

본 연구는 고랭지 채소재배단지인 소양호 상류 유역인 자운천 유역을 연구지점으로 선정하여 우수유출에 따른 비점오염원의 유출관계를 살펴보기 위하여 2005년 1개년동안 유량과 하천 및 호소수에 부영양화 및 탁도를 유발하는 부유물질을 실측하여 월별로 강우강도에 따른 수질이 변화하는 양상을 고찰하였다. 또한 부유물질 유출에 영향을 주는 인자중 강우강도, 강우지속시간을 대상으로 상관분석 및 회귀분석 등 통계학적 검증방법을 실시하여 부유물질 유출에 가장 큰 영향을 주는 지배

* 강원대학교 산업대학원 토목공학과 공학석사

** 강원대학교 대학원 토목공학과 박사과정

*** 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사

인자를 제시하였다.

또한 미계측시 부유물질의 농도를 예측할 수 있는 회귀식을 개발하여 제시하였다.

2. 대상유역선정 및 자료조사

2.1 대상유역선정

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

정확한 오염원을 산정하기 위해서는 소단위의 토지이용도를 나누어 각 토지 이용별로 조사, 수질을 명확히 규명하여 오염물질 배출 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 위해 대량의 객토를 하여 강우시 기간에 객토로 인한 부유물질의 유출 및 대량의 오염원 유출이 일어나는 자운천 유역을 선정하여 본 연구를 수행하였다.

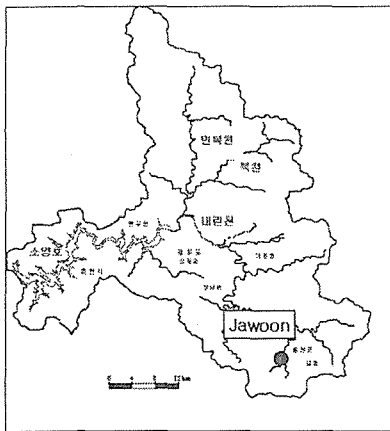


그림 1 소양호 유역의 주요 하천수계 및 연구지점

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 관서명	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. 28.	228		
	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

본 연구에서는 소양호 상류유역의 자운천 창촌 교 조사지점으로 선정하였다. 오염원의 유출을 신뢰성 있게 파악하기 위하여 자운천 유역의 하류지점을 선정하여 2005년 1개년동안 총 6차례 강우사상동안 46회에 걸쳐 수질을 조사하였다. 강우시 기준은 유출이 발생될 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	분 석 방 법
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 본문 2.1에서 제시된 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

부유물질은 대부분 강우 초기에 하천에 유입되므로 실측된 자료를 전부 이용하여 분석 할 경우 분석 결과의 신뢰도를 저해하는 요인이 발생할 수 있으므로 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.

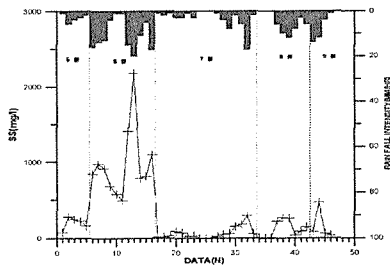


그림 2 자운천 유역의 수질 및 강우강도

3.3 부유물질의 월별변동 분석

부유물질은 유출특성상 토지형태에 따라 다르게 유출되는 특성을 가지기 때문에 본 연구에서는 부유물질의 유출에 영향을 주는 강우강도를 대상으로 월별로 경향 분석 결과, 아래 그림 3에서 보는 바와 같이 5월 ~ 6월 에는 부유물질 유출이 강우강도에 크게 영향을 받아 크게 발생하는 것을 알 수 있으며, 9월 이후에는 산림과 농경작지의 식생 상태가 활발하게 진행됨에 따라 부유물질의 유출이 낮아 일어나는 것을 알 수 있다. 아래 그림 3은 강우강도-부유물질 무차원 그래프를 나타내었다.

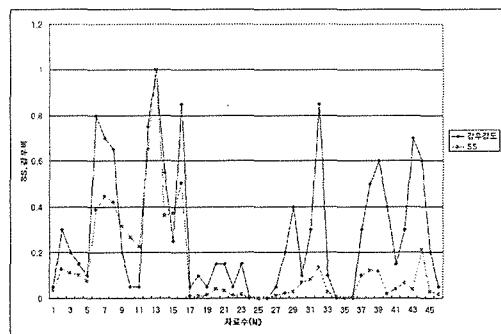


그림 3 강우강도-부유물질 무차원 그래프

3.4 상관분석 및 회귀분석

1) 부유물질-강우강도 상관분석

부유물질 유출에 영향을 주는 인자 영향력을 알아보기 위하여 먼저 강우강도-부유물질간의 상관성 유무를 판정하기 위하여 상관분석을 실시하였다. 상관분석결과, 상관계수(R)가 5월에는 0.93, 6월 0.77, 7월 0.86, 8월 0.84, 9월에는 0.53의 범위 값을 보였으며, 신뢰구간 95%일때 5월~8월에는 유의수준 5%안에 유의한 것을 알 수 있다. 각 월별로 높은 상관성을 보였으며, 5월~8월 중에는 강우강도가 부유물질 전체 변동의 77% ~ 93%의 높은 설명력을 보였다. 반면 9월에는 설명력이 53%로 다른 기간에 비하여 낮은 설명력을 보였다. 이는 산림 및 농경작지의 식생이 활발하게 진행됨에 따라 강우강도와 부유물질의 관계가 현저하게 떨어지는 것을 알 수 있다.

표 6 강우강도-부유물질 상관분석

	자료수 (N)	상관계수 (Correlation Coefficient)	P-value
5월	6	0.93	0.02
6월	11	0.77	0.006
7월	17	0.86	0.000
8월	9	0.84	0.005
9월	5	0.53	0.29

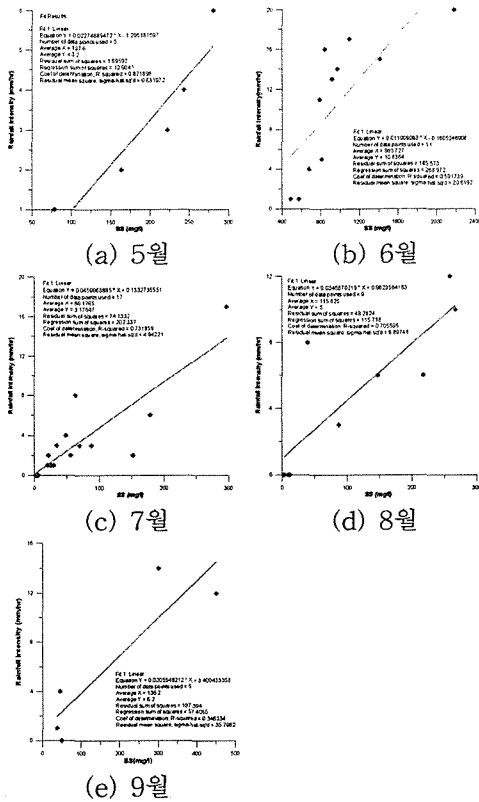


그림 4 월별 부유물질 - 강우강도 상관도

2) 부유물질-강우지속시간 상관분석

본 연구에서는 강우강도 이외의 부유물질 유출에 영향을 미치는 인자중 강우지속시간과 부유물질간의 상관분석을 실시하였으며, 상관분석 결과 상관계수(R)가 5월에는 0.38, 6월 0.18, 7월 0.38, 8월 0.34, 9월 -0.57의 범위값을 보였으며, 5월 ~ 8월에는 강우지속시간이 부유물질 전체 변동의 18%~38%로 부유물질에 대한 설명력이 매우 낮음을 보였다. 이는 강우지속시간이 부유물질 유출에 미치는 영향이 크게 없음을 알 수 있다. 반면 9월에는 상관계수가 -0.57로 음의상관을 보였으며, 이는 토지의 산림 및 농경지지의 식생이 활착됨에 따라 강우회식효과에 의하여 강우지속시간이 지속될 수록 부유물질의 유출이 낮게 지속적으로 일어나는 것을 알 수 있다. 가설검정에서는 신뢰구간 95%에서 유의확률이 12%~53%로 유의하지 않았다.

표 7 강우지속시간 - 부유물질 회귀분석

	자료수 (N)	상관계수 (Correlation Coefficient)	P-value
5월	6	0.38	0.52
6월	11	0.18	0.53
7월	17	0.38	0.12
8월	9	0.34	0.36
9월	5	-0.57	0.317

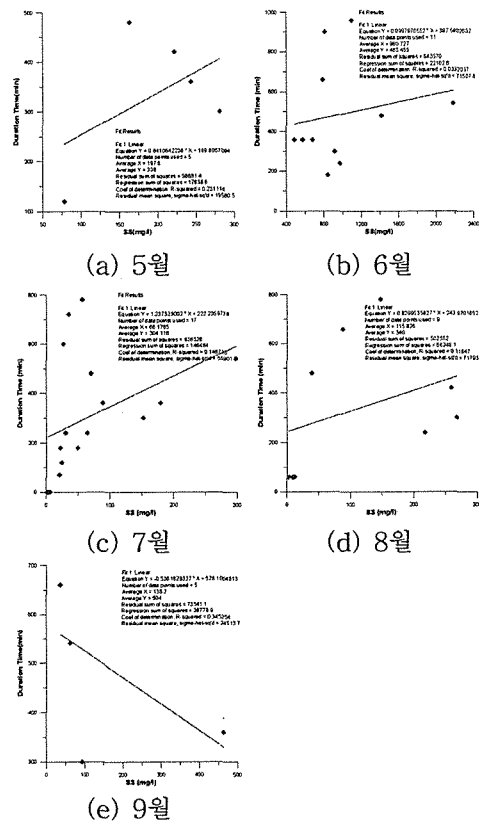


그림 5 월별 부유물질 - 강우지속시간 상관도

3.5 회귀분석

1) 독립변수간 상관분석

다중회귀분석을 실시하기 앞서 독립변수들 간의 높은 상관성이 나타나면다중공산성의 문제가 발생하게 된다. 독립변수들 간의 상관계수가 0.7이상을 보이면 독립변수들간의 서로 같은 영향을 종속변수에게 주게된다.

이러한 다중공산성 문제가 나타나게 되면 결정

계수(R^2)는 높아지게 되나, 독립변수들간의 회귀계수의 의미가 없어지게 됨으로 주의 하여야 한다. 이에 다중회귀분석을 실시하기 앞서 독립변수들간의 상관분석을 실시하였으며, 상관분석결과 상관계수가 0.28으로 다중공산성 문제는 발생하지 않았다. 독립변수간의 상관분석결과는 표 8에 나타내었다.

표 8 독립변수의 다중상관성 분석

구 분	강우강도	p-value	강우지속시간	p-value
강우강도	1	0.00	0.280	0.05
강우지속시간	0.280	0.05	1	0.00

2) 회귀식 개발

부유물질(SS)의 변화에 가장 큰 영향을 미치는 지배인자의 영향력을 정량적으로 제시하고, 미계측시 부유물질 농도를 예측할 수 있는 회귀식개발을 위하여 회귀분석을 실시하였다. 부유물질을 종속변수로 놓고 그 이외의 변수들을 독립변수로 배치하였다. 이에 두 변수들에 대하여 먼저 다중회귀분석을 실시하였으며, 5월,6월에는 결정계수가 0.84로 높게 나타났다. 그러나 독립변수 강우지속시간에서 신뢰구간 95%일때 p-value값 0.48로 통계치가 모수치를 대표함에 있어 오차가 5%이상임을 의미하므로 종속변수에 미치는 영향을 무의미함을 알 수 있다. 7월,8월에는 결정계수가 0.85로 높게 나타났다. 그러나 독립변수중 강우지속시간이 신뢰구간 95%일때 p-value 값이 0.81로 유의도가 5%이상을 보임으로 종속변수에 미치는 영향이 무의미함을 알 수 있었다. 따라서 회귀분석시 강우지속시간 변수를 배제시킨 후 회귀분석을 실시하여 다음과 같은 회귀식을 개발 할 수 있었다.

표 9 강우강도 - 부유물질 농도 회귀식

구 분	Regression equation	결정계수 (R^2)
5월,6월	$y = 168.530 + 68.267x$	0.71
7월,8월	$y = 14.923 + 17.975x$	0.72

표 10 다중 회귀분석결과(5월,6월)

계 수(Coefficient)						
변수	B (회귀계수)	β (표준화계수)	t -value	p -value	Tolerance	VIF
constant	56.425	-	0.285	0.780	-	-
rain fall intensity	67.429	0.830	5.607	0.000	0.991	1.009
rain fall duration	0.217	0.108	0.732	0.477	0.991	1.009

분산분석 (analysis of variance)					
Model	sum of squares	df	Mean squares	F-value	P-value
SSR	312382.11	2	1561910.554	16.527	0.000
SSE	1228548.77	13	94503.752	-	-
SST	4352369.88	15	-	-	-

회귀식(Regression equation)

$$y = 56.425 + 67.429x_{\text{강우강도}} + 0.217x_{\text{지속시간}(min)}$$

Model Summary

R	R-square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
0.847	0.718	0.674	307.4146

표 11 다중 회귀분석결과(7월,8월)

계 수(Coefficient)						
변수	B (회귀계수)	β (표준화계수)	t -value	p -value	Tolerance	VIF
constant	12.558	-	0.759	0.456	-	-
rain fall intensity	17.729	0.837	6.947	0.000	0.836	1.196
rain fall duration	0.010	0.029	0.238	0.814	0.836	1.196

분산분석 (analysis of variance)					
Model	sum of squares	df	Mean squares	F-value	P-value
SSR	148780.703	2	74389.204	29.702	0.000
SSE	57603.856	23	2504.615	-	-
SST	206384.559	25	-	-	-

회귀식(Regression equation)			
$y=12.549+17.727x_{\text{(강우강도)}}+0.01x_{\text{(지속시간(min))}}$			
Model Summary			
R	R-square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
0.849	0.721	0.697	50.046

표 12 회귀분석결과(5월,6월)

계수(Coefficient)				
변수	B (회귀계수)	β (표준화계수)	t-value	p-value
constant	168.530	-	1.363	.194
rain fall intensity	68.267	.840	5.800	.000

분산분석(analysis of variance)

Model	sum of squares	df	Mean squares	F-value	P-value
SSR	3073242.5	1	3073242.45	33.637	.00
SSE	1279127.4	14	91366.245	-	-
SST	4352369.9	15	-	-	-

회귀식(Regression equation)

$$y=168.530+68.267x$$

Model Summary

R	R-square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.840	.706	.685	302.268

표 13 다중 회귀분석결과(7월,8월)

계수(Coefficient)				
변수	B (회귀계수)	β (표준화계수)	t-value	p-value
constant	14.923	-	1.150	0.261
rain fall intensity	17.975	0.849	7.860	0.000

분산분석(analysis of variance)

Model	sum of squares	df	Mean squares	F-value	P-value
SSR	148636.398	1	148636.398	61.773	0.00

SSE	57748.160	24	2406.173	-	-
SST	206384.559	25	-	-	-

회귀식(Regression equation)

$$y=14.923+17.975x$$

Model Summary

R	R-square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
0.849	0.720	0.709	49.05276

4. 결론

본 연구는 하천 및 호소의 부영양화 및 탁도를 유발하는 오염물질 인자 SS(suspend solids)를 대상으로 부유물질 유출에 영향을 주는 인자 중 강우강도, 강우지속시간에 따른 유출특성 및 경향을 분석하여 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1) 월별로 부유물질의 월별변동을 분석한 결과 홍수기전인 5월과 6월에서 강우에 의해 부유물질이 크게 유출되는 것을 알 수 있으며, 7월 이후에 강우에 의한 초기 세척효과로 인하여 부유물질의 유출이 작게 서서히 일어나는 것일 알 수 있었다.

2) 강우강도에 따른 부유물질의 월별 상관분석을 실시한결과 상관계수가 5월에는 0.93, 6월 0.77, 7월 0.86, 8월 0.84, 9월 0.53의 범위 값을 나타냈으며, 통계학적으로 신뢰구간 95%일 때 유의확율이 0.00~0.02로 매우 유의하였다. 따라서 5월~8월에는 강우강도와 부유물질의 상관성이 상당히 높은 것을 알 수 있으며, 9월 이후에는 상관성이 떨어지는 것을 알 수 있다. 이는 강우강도와 부유물질이 토지의 식생상태에 따라 관계가 깊은 것을 알 수 있었다.

3) 강우강도 이외의 강우지속시간에 대하여 상관분석을 실시한 결과 상관계수가 5월에는 0.38, 6월 0.18, 7월 0.38, 8월 0.34의 값을 보였으며, 또한 신뢰구간 95%일때 유의수준 5%이상의 범위를 나타내어 유의하지 않았다. 이는 부유물질의 전체 변동에 크게 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다. 반면 9월에는 상관계수가 -0.57로 토지의 식생이 활착됨에 따라 강우지속시간에 의해 부유물질의 유출이 역상관을 보이는 것을 알 수 있었다.

4) 부유물질에 대한 지배인자의 상대적 영향력을

산업기술연구(강원대학교 산업기술연구소 논문집), 제27권 A호, 2007.
산지하천의 강우특성에 의한 부유물질 유출에 관한 연구

살펴보기 위하여, 강우강도와 강우지속시간에 대하여 다중 회귀분석을 실시한 결과 강우강도는 83%, 강우지속시간은 7% 순으로 부유물질 유출에 유의적인 영향을 미치고 있는 것을 알 수 있다.

5) 부유물질의 유출에 민감함 강우강도에 대하여 월별 회귀분석을 통하여 미계측시 부유물질의 농도를 예측할 수 있도록 회귀식을 개발하였다.

$$\begin{aligned} & \text{5월, 6월 :} \\ & \text{Con. (mg/l)} = 168.530 + 68.267x (\text{강우강도}) \\ & \text{7월, 8월 :} \\ & \text{Con. (mg/l)} = 14.923 + 17.975x (\text{강우강도}) \end{aligned}$$

6) 회귀식의 검증결과 5월~ 6월 결정계수 0.71, F-value 33.637, T-value 5.8, P-value 0.00, 7월~ 8월은 결정계수 0.72, F-value 61.773, T-value 5.8, P-value 0.00으로 매우 유의하였다.

참 고 문 헌

- [1] 안재환, “비도시지역에서 강우사상에 따른 비점 오염원 유출특성 연구”, *건설기술정보*, 2000.
- [2] 이수길, “농촌지역에서의 비점원 오염물질이 하천수질에 미치는 영향에 관한 연구”, *서울대학교 대학원*, 1991.
- [3] 이진태, “만대천 유역의 강우에 의한 비점오염물질 유출특성에 관한 연구”, *강원대학교 산업대학원*, 2005.
- [4] 유상모, “소양호 상류유역의 강우강도에 따른 부유물질 유출특성”, *강원대학교 산업대학원*, 2005.
- [5] 박재용, “미계측 유역의 부유물질 예측을 위한 다중회귀식 개발”, *강원대학교 대학원*, 2006.
- [6] 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.
- [7] Ichiki, A. and Yamada, K., “Study on characteristics of pollutant runoff into lake Biwa Japan”, *Water Sci. Technol.*, 1989.