

소유역의 토지이용에 따른 유출특성의 영향

최예환* · 최중대 · 김기성 · 임경재

강원대학교 농업공학부

The Influence of the Runoff Characteristics to Depend on the Land Use in the Small Watersheds

Ye-Hwan Choi* · Joong-Dae Choi · Ki-Sung Kim and Kyoung-Jae Lim

Division of Agricultural Engineering, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

ABSTRACT

In the forthcoming 21C, the development of cultural lives depends on that the water demand will increase or not. On the opposite site of that circumstance, many factors of the small watersheds will influence directly on how to cover the surface of watersheds with land use, no planning developing watersheds, and the rearrangement of small rivers. Especially as the extraordinary climatic phenomena, exhaust of CO₂ and destruction of O₃ layer, water resource and water foresting content of the small watersheds will be decreased by confusing on the making a plan of water resources.

For example, those are Typhoon Rusa in 2002, Typhoon Maemi in 2003 and heavy storms in 2004. This study area has three group and one of them having three small watersheds, total five small watersheds. That is, Sabukmyeon small watersheds in Chuncheon, Three small watersheds in Wonju(Jeoncheon, Jupocheon and Hasunamcheon), and Suipcheon in Yanggu-Gun which are located far away each other three group and different precipitation data. According to the land use such as dry field(or farm), rice field, forest land, building site and others in small watersheds, the amount of runoff will be impacted by monthly precipitation. The comparison between the runoff was getting from Kajiyama Formula and calculated runoff from multi-linear regressed equations by land use percentage was performed with different precipitation data and different small watersheds. Its correlations which are estimated by coefficient of correlation will be accepted or not, as approached 1.0000 values. As the monthly water resources amount is estimated by multi-linear regressed equations with different precipitation data and different small watersheds having no gauging station, we make a plan in order to demand and supply the water quantity from small river watersheds during return periods.

Key words : Small river watersheds, Extraordinary climatic phenomena, Water resources, Land use, No gauging station, Multi-linear regressed equation, Coefficient of correlation

* Corresponding author: Ye-Hwan Choi, Tel: +82-33-250-6462, Fax: +82-33-251-1518, E-mail: yhchoi@kangwon.ac.kr

I. 서론

21C는 인류의 문화가 발달할수록 물의 수요가 날로 증대되어 가고 있는 반면에 대유역의 근원인 중·소유역은 여러 가지 지형적인 지표인자와 토지이용의 여건과 유역의 개발 및 소하천정비 등으로 유출에 직접 영향을 주는 인자들이 다양해졌다. 뿐만 아니라 지구상에 CO₂의 과다한 배출과 오존층의 파괴로 북극을 비롯한 지구상의 빙하들이 기온상승으로 그 양이 감소되고 있으며, 이상 기후의 변화로 강수량의 양상이 매우 다양해졌고 그 양도 과거의 기록치를 갱신하기에 이르렀다. 그 예가 2002년의 태풍 Rusa와 2003년의 태풍 Mamie와 최근 집중호우로 또는 지진 등의 원인으로 인해 강우의 양상이 매우 불확실해졌으며, 따라서 수자원확보도 매우 어렵게 되고 있다.

이러한 상황에서 연구대상유역을 강원도 춘천시 사북면 소유역, 원주시 전천, 주포천, 하수남천 유역과 양구군 수입천 유역을 대상으로 토지이용과 지표상황을 강수량과 유출량을 연계한 수자원을 월별로 추정하고 수요량에 대비한 수자원을 확보하는데 그 목적이 있다.

따라서 연구대상 소유역은 유출상황과 유역의 토지이용상황 및 강수량이 다르고 유역이 떨어진 춘천시 사북면소유역, 원주시 3개 소유역과 양구군 수입천 등 3개 지역으로 나누고 원주시 소지역은 이웃한 3개 소유역인 전천, 주포천 및 하수남천 유역 등 총 5개 소유역에 대하여 토지이용상황인 전, 답, 임야, 주거지 및 기타 등의 5개 인자가 유출에 영향을 주고 있음을 착안하였다. 따라서 유역의 양상이 다르고 먼 거리에 떨어져 있고, 강수량이 다른 경우를 대상으로 하여 Kajiyama 공식을 적용하여 산출된 월별 유출고를 산출한 후 토지이용인자를 회귀다중1차방정식으로 유도하였다. 즉 $Q=(C_1X_1+C_2X_2+C_3X_3+C_4X_4+C_5X_5)P$ (Q: 유출고, $X_1\cdots$: 토지이용인자백분율, P: 월강수량)으로 표시하고, 계수 C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 가 토지이용에 따라 산출함으로서 Kajiyama 공식에서 구한 유출고와 회귀다중 1차방정식에서 구한 유출고와의 상관성을 규명하고 앞으로 발생할 재현기간별 월별

예측 강수량을 미리 추정하면, 회귀식에서 월별유출량을 산출할 수 있다. 따라서 서로 지형인자가 다르고 거리가 떨어져 있는 미계측 소하천에도 토지이용상황 백분율만 알면 회귀식들을 이용하여 앞으로 발생 할 수 있는 임의의 소하천유역의 재현 기간별 월별 수자원을 추정함으로서 수요량과 홍수량에 대비한 대책을 세울 수 있으므로 수자원의 수요와 공급에 따른 수자원 계획을 확립하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 생각한다.

II. 연구대상유역

1. 유역의 상황

연구대상유역은 크게 3개군으로 나누고, 그 중 1개는 원주시 관할에 속한 3개 소하천 유역을 가진 대상 구역을 포함시킴으로서 총 5개 소유역을 연구대상 유역으로 하고 유역상황을 살펴보면 다음과 같다.

가. 춘천시 사북면 소유역

북산면은 무명산(EL.480m)에서 발원하여 동쪽으로 유하하여 북한강 우안에 유입하는 신평천과 광산골천, 살구골천 및 인람천, 삽수리천, 재골북천, 버들골천, 배나무골천, 고개울천, 우레골천이 있고, 큰알미산 능선에서 발원하는 상촌천, 궁산말천, 큰궤기골천이 역시 북한강으로 유입하고, 모래재의 능선에서 발원하는 가일천, 장군봉의 능선에서 발원하여 남쪽으로 유하하고 사평천 우안에 유입하는 송암천과 도장골천, 덕우고개의 능선에서 발원하여 남쪽으로 유하하여 송암천 우안에 유입하는 송방골천, 계관산의 능선에서 발원하여 남쪽으로 유하하여 북한강 우안에 유입하는 양당말천, 양통고개의 능선에서 발원하고 서북쪽에서 유하하여 사평천 좌안에 유입하는 양통천, 부다리고개의 능선에서 발원하고 사평천으로 유입하는 적둔천, 용화산 (EL.878m)의 능선에서 발원하여 남쪽으로 유하하여 사평천에 유입하는 양지말천,

고탄령의 능선에서 발원하는 사여골천, 축대봉(EL.1,125m)의 능선에서 발원하여 동쪽으로 유하하여 지암천 우안에 유입하는 조계골천, 토보산의 능선에서 발원하는 구지천, 오알미산에서 발원하는 배울천 등의 소하천 25개로 구성되어 있다.

유역의 지형적 특성을 보면 신포천은 농경지와 산지로 분포되어 있으며 2개의 소하천(살구골천, 광산골천)이 좌안으로 합류하면서 산지계곡의 하천형상을 하고 있으며 비교적 하폭은 넓으며, 하

상경사는 급하여 많은 낙차공과 상류에 사방댐이 있으며 호박들과 암으로 구성된 하상이다. 또한 유역의 평균경사가 30%이고, 평균고도는 321.53m이다.

[그림 1]은 사북면 소하천 유역도와 토지 이용도를 나타내고 있으며, [표 1]은 유역의 특성인자들을 나타내고 있다.

Table 1. The watershed characteristics of sabuk-myeon, chuncheon

river name	watershed area A (km ²)	river length L (km)	mean width of watershed A/L (km)	shape factor A/L ²	mean slope 1/S
Shinpo Cheon	9.53	6.22	1.53	0.25	1/5~1/46
Kwangsangol Cheon	2.28	3.11	0.73	0.24	1/3~1/4
Salgugol Cheon	1.03	2.28	0.43	0.18	1/2~1/12
Sangchon Cheon	0.20	1.13	0.18	0.16	1/6~1/20
Kungsanmal Cheon	0.93	2.00	0.47	0.23	1/5~1/16
Keunkwolkigol Cheon	1.53	3.51	0.44	0.12	1/21~1/30
Kail Cheon	5.87	3.62	1.62	0.45	1/5~1/41
Ihnlam Cheon	1.47	2.48	0.59	0.24	1/6~1/32
Songam Cheon	9.23	5.39	1.71	0.32	1/7~1/91
Sapsuri Cheon	2.61	2.64	0.99	0.37	1/13~1/58
Jaegolbuk Cheon	0.77	1.81	0.43	0.24	1/13~1/58
Beodeulgol Cheon	0.35	1.17	0.30	0.26	1/5~1/13
Baenamugol Cheon	0.76	1.20	0.63	0.53	1/5~1/13
Kogaeul Cheon	0.61	1.64	0.37	0.21	1/4~1/18
Seungbanggol Cheon	2.39	2.54	0.94	0.38	1/4~1/46
Eungdangaml Cheon	1.94	2.39	0.81	0.34	1/4~1/22
Yangton Cheon	4.16	2.62	1.59	0.61	1/7~1/28
Jeokdun Cheon	3.13	4.18	0.75	0.18	1/7~1/31
Yangjimal Cheon	4.64	4.20	1.10	0.26	1/7~1/27
Sayeogol Cheon	6.80	4.12	1.65	0.40	1/6~1/20
Dojanggol Cheon	1.34	2.43	0.55	0.23	1/4~1/31
Jogegol Cheon	6.45	5.29	1.22	0.23	1/3~1/21
Baeul Cehon	2.31	3.82	0.60	0.16	1/3~1/26
Wooregol Cheon	8.04	5.00	1.61	0.32	1/3~1/38
Myeoguji Cheon	2.28	3.00	0.76	0.25	1/3~1/9
mean slope					1/2~1/58

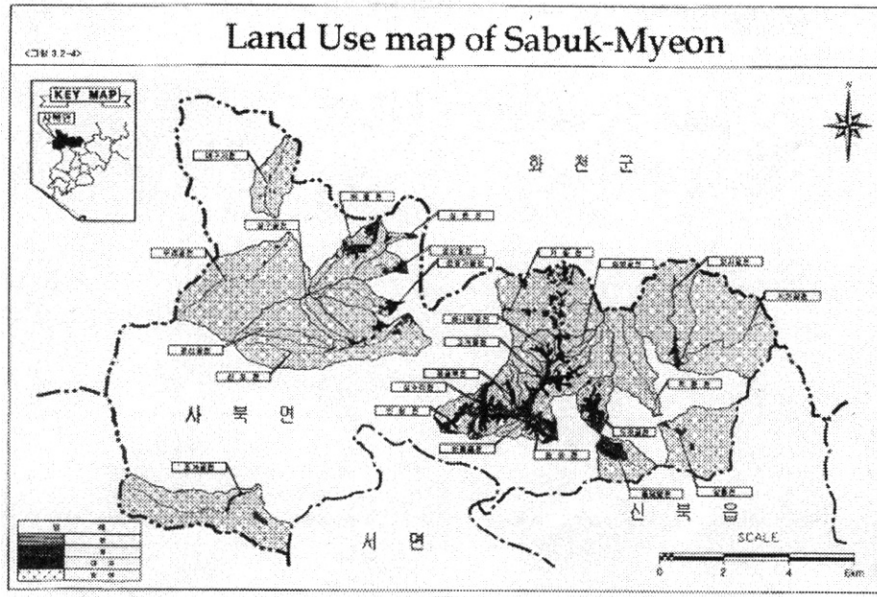


Fig. 1. Watershed map of sabuk-Myeon small watershed, Chuncheon

나. 전천의 유역

전천은 한강의 제2지류로서 유역면적이 169.98km^2 , 유로연장이 26.25km 이며, 유역의 인근하천은 동측에는 주천강이 서측에는 섬강이 북에서 남으로 관류하고 있으며, 지형적인 특성은 전천 유역을 중심으로 남쪽에서 북동쪽으로 치악산(EL. $1,282\text{m}$), 매화산(EL. 697m), 봉화산(EL. 667m), 죽림산(EL. 637m), 정금산(EL. 494m) 및 국사봉(EL. 498m)을 연결하는 산계가 이어진 분수령으로 둘러싸여 있으며, 사면을 따라 흐르는 전천은 그 유역에 많은 산간분지를 형성하면서 동에서 서로 흘러 지방 1급 하천인 섬강으로 유입되고 있다.

전천의 수원은 원주시 우천면 하궁리의 봉화산(EL. 667m)의 능선에서 발원하여 서쪽으로 유하하면서 좌측의 대미원천, 하수남천, 생운천과 합류한 후 계속 서쪽으로 흘러 섬강에 합류하고 있다.

행정상으로는 유역의 북부는 강원도 횡성군에, 남부는 원주시에 속하며, 유역내 행정구역으로는 강원도 원주시 소초면과, 횡성군 횡성읍 등 4개면을 합한 39개리를 포함하고 있다.

유역의 평균경사는 $1/58 \sim 1/257$ 이며, 전천의 평균고도는 EL. 351.54m 로 비교적 높은 고도를 지닌 유역이며, 유역의 특성은 [Table 2]와 같고, 유역

도는 [그림 2]와 같다.

다. 주포천 유역

주포천은 강원도 원주시 신림면 성남리 남대봉(EL. $1,181.5\text{m}$)에서 발원하여 남류하여 도계를 지나 충청북도의 제천천으로 명명되기도 하며, 사행을 많이 이루고, 남류하다가 충주호 북단으로 유입되는 지방2급 하천이다.

유역의 특성은 유역면적이 83.15km^2 이고 유로연장이 14.50km 이며, 수지상 유역의 형태로 지천의 유입이 작고, 본천이 유역의 중앙을 관통하여 전체적으로 가늘고 긴 직사각형의 형상을 가지고 나무가지 모양으로 되어있다. 평균고도가 EL. 540.14m 이고, 타지역에 비하여 고지대로 구성되어 있으며, 유역의 평균경사는 하구에서 23.61% 이며, 하상경사는 $1/39 \sim 1/221$ 정도로 급하다가 완만한 편이다.

유역의 토지이용을 보면 [표 3]과 같이 총 83.15km^2 중 답이 2.88km^2 로 3.5% , 전이 6.53km^2 로 7.9% , 임야가 70.36km^2 로 84.6% , 주거지가 2.58km^2 로 3.1% 및 기타가 0.80km^2 로 1.0% 를 각각 이루고 있다. 따라서 타유역에 비하여 임야가 점유하는 비율이 높은 편이다.

Table 2. Watershed characteristic of Choncheon (Wonju)

river name	watershed area A (km ²)	river length L (km)	mean width of watershed A/L (km)	shape factor A/L ²	mean slope I/S
Estuary, Chon Cheon	169.98	26.37	6.45	0.244	1/257
After junction of Saengwun C.	164.36	23.20	7.08	0.305	1/294
Before junction of Saengwun C.	146.13	23.20	6.30	0.271	
Before junction of Ockdong C.	133.85	19.07	7.02	0.368	1/233
After junction of Hasunam C.	129.35	16.68	7.75	0.465	1/203
Before junction of Hasunam C.	91.11	16.68	5.46	0.327	
After junction of Daemiwon C.	83.35	13.98	5.96	0.426	1/165
Before junction of Daemiwon C.	42.07	13.98	3.01	0.215	
pt. of Sanjon bridge	36.62	10.76	3.40	0.316	1/140
After junction of Yangji C.	27.34	7.90	3.46	0.438	1/58
Before junction of Yangji C.	13.93	7.90	1.76	0.223	
Hagung reservoir	4.60	3.85	1.19	0.310	

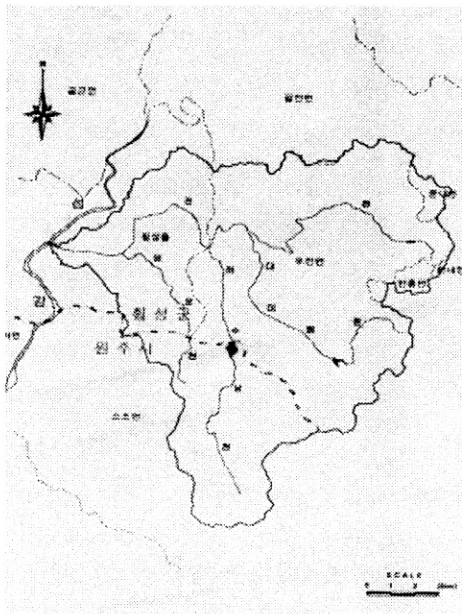


Fig. 2. Watershed map of ChonCheon.

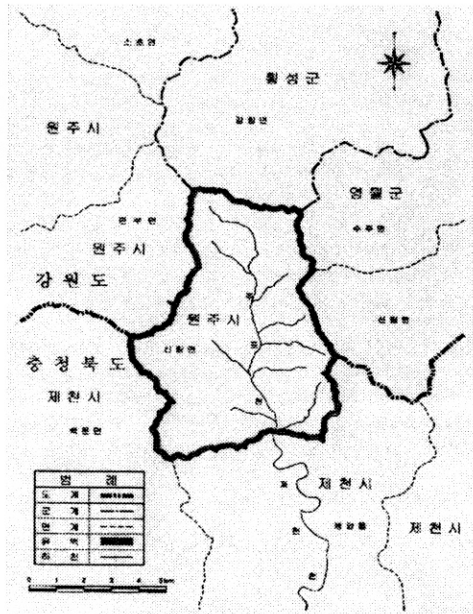


Fig. 3. Watershed map of JupoCheon.

Table 3. Watershed characteristic of Jupoecheon

river name	watershed area A (km ²)	river length L (km)	mean width of watershed A/L (km)	shape factor A/L ²	mean slope 1/S
Estuary, Jupo Cheon	83.15	14.50	5.73	0.40	
Before junction of Suryeop C.	77.18	14.37	5.37	0.37	1/221
Before junction of Jongrim C.	61.88	13.87	4.46	0.32	
Before junction of Sinsan C.	54.63	11.50	4.75	0.41	
Before junction of Sinrim C.	35.21	11.07	3.18	0.29	1/110
Before junction of Eondang C.	30.21	9.06	3.33	0.37	1/107
Before junction of Sarichi C.	26.23	8.96	2.92	0.33	
Before junction of Sureong C.	22.29	7.67	2.91	0.39	1/63
Before junction of Dangsup C.	13.40	5.90	2.27	0.38	1/59
pt. of Upper river	12.16	4.70	5.69	0.55	1/39

라. 하수남천

하수남천은 한강의 제3지류로서 유역의 북부는 강원도 횡성군에 남부는 원주시에 속하며, 유역의 동쪽은 섬강이, 북쪽에는 홍천강이 동에서 서로 관류하고 있으며, 지형적 특성으로는 유역을 중심으로 북동쪽에서 남동쪽으로 풍취산(EL. 698m), 봉화산(EL. 670m), 죽림산(EL. 640m), 정금산(EL. 494m)을 연결하는 산계가 있고, 북서쪽에서 남서쪽으로는 국사봉(EL. 498m), 홍도산(EL. 336m), 덕고산(EL. 472m), 삼봉(EL. 1,072m)와 치악산(EL. 1,288m)을 연결하는 산계로 자리잡고 있으며, 이 두 산계를 사면으로 따라 흐르는 하수남천은 그 유역에 많은 산간분지를 형성하면서 남에서 북으로 흘러 지방2급하천인 전천으로 유입되고 있다.

이 유역은 [표 4]와 같이 유역면적이 38.24km², 유로연장이 13.47km이며, 유역의 평면적인 특성은 유역의 형상계수가 0.21로 수렴상을 가지고 있으며, 평균고도가 495.5m이고, 평균하상경사가 1/82~1/20 사이에 있으며, Table 4.와 같이

유역면적 38.24km²중 전이 2.81km²로 7.35%, 답이 2.76km²로 7.22%, 임야가 28.21km²로 73.77%, 주거지가 0.33km²로 0.86%, 기타가 4.13km²로 10.8%를 각각 구성하고 있다.

마. 수입천 유역

수입천 유역은 강원도 양구군 방산면을 관류하여 양구 서천에 유입되는 북한강 제3지류로서 유역면적이 320.49km²이고, 유로연장이 50.26km이다. 수입천의 수원은 양구군 방산면 휴전선부근에서 발원하여 사행유로를 형성하면서 남류하여 양구 서천과 합류한다. 유역형상이 나뭇잎과 같은 형상을 하고 있으며, 평균경사가 37.8%이고, 유역 평균고도는 EL. 683.5m이다. 하상경사는 1/163~1/188정도로 완만한 편이다. [표 5]와 같이 전 유역면적이 320.49km²중 전이 8.16km²로 2.55%이고, 답이 5.61km²로 1.75%이며, 임야가 237.61km²로 74.14%, 주거지가 0.53km²로 0.17%이며, 기타 68.57km²로 21.39%를 각각 이루고 있다.

Table 4. Watershed characteristic of Hasunamcheon

river name	watershed area A (km ²)	river length L (km)	mean width of watershed A/L (km)	shape factor A/L ²	mean slope 1/S
Estuary of Hasunam C.	38.24	13.47	2.83	0.210	
pt. of Hasu bridge	32.04	10.11	3.16	0.313	1/82
Hakgok reservoir	30.45	8.60	3.54	0.411	1/65
After junction of Maehwagol C.	27.97	6.71	4.16	0.621	
Before junction of Maehwagol C.	21.02	6.71	3.13	0.466	1/80
Entrance of Musoijeomgol	17.61	5.13	3.43	0.669	1/62
Down stream of Kuryongchokyo	10.67	3.18	3.35	1.055	1/35
Before junction 1 of Mumyong C.	5.68	1.46	3.89	2.664	1/20
Before junction 2 of Mumyong C.	3.47	0.53	6.54	12.353	
Before junction 3 of Mumyong C.	2.45	0.53	4.62	8.721	

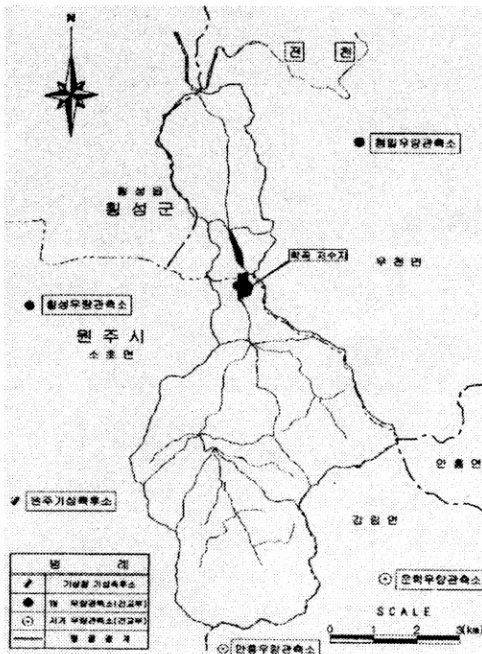


Fig. 4. Watershed map of Hasunamcheon.

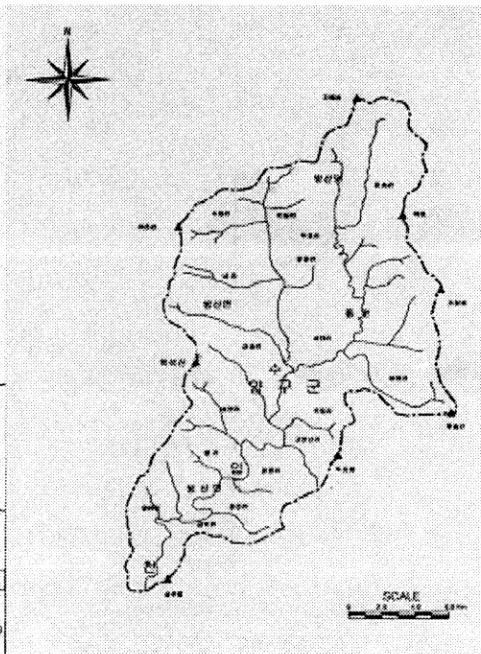


Fig. 5. Watershed map of Suipcheon.

Table 5. Watershed characteristic of Suipcheon

river name	watershed area A (km ²)	river length L (km)	mean width of watershed A/L (km)	shape factor A/L ²	mean slope 1/S
Estuary, Suip Cheon	320.49	50.29	6.37	0.13	37.8
Junction of Keumakri branch C.	291.25	40.40	7.21	0.18	37.4
Junction of Songhyeonri branch C.	263.97	33.08	7.98	0.24	37.7
Bangsan bridge	240.20	29.40	8.17	0.28	38.5

III. 유역의 유출량 분석

1. 산출된 유출량

Kajiyama 공식은 한국에서 널리 이용하고 있으며, 월별 유출량을 추정하는 공식으로 농업용 저수지나 다목적 댐의 저수용량을 결정하는데 많이 사용되고 있다.

본 연구에서는 Kajiyama 공식을 이용하여 소유역별로 월별 유출량을 산정하여 검토한 결과 적합한 것으로 판단되어 각 소유역들에 이 공식을 적용하여 월별 유출량을 산출하였다. 월별 유출고 공식은

$$Q = \sqrt{R^2 + (138.6f + 10.2)^2} - 138.6f + E \quad (1)$$

여기서, Q: 월별유출고(mm).

R: 유역의 월별 강수량(mm).

f: 유역의 상황에 의하여 변화하는 계수 (0.6~1.4), 본 유역에서는 f=1.0을 적용.

E: 각 월별마다 R에 의하여 변화하는 보정량.

식(1)을 사용하여 춘천, 원주 및 방산(화천)등의 관측소에서 얻은 강수량을 Kajiyama 공식에 적용하여 유출고를 본 연구 소유역의 역거리제곱법(RDS)을 이용하여 각 소유역의 유역 중심까지의 거리를 고려한 후 Kajiyama 공식에 적용하여 값을 얻었다. [표 6]은 5개 소유역의 강수량과 유출고 값을 나타내고 있다.

유출률을 보면 [표 6]에서 보는 바와 같이 사북면천은 강우량이 적은 1, 2, 3 및 11월이 0.41~0.54이고 홍수기인 7, 8, 9월은 0.54~0.67이었다. 전천인 경우는 1, 2, 3, 11, 12월은 0.36~0.46이었고, 홍수기인 6, 7, 8, 9월은 0.54~0.67이었다. 주포천인 경우도 1, 2, 3, 11, 12월의 유출률이 0.36~0.46이었고, 홍수기인 7, 8, 9월이 0.55~0.66이었으며, 하수남천인 경우는 0.37~0.47과 0.54~0.66을 각각 보였고, 양구 수입천의 경우는 0.45~0.56과 0.62~0.66을 각각 나타내었다.

이 결과를 통해서 볼 때 강수량이 적은 계절인 1, 2, 3, 11, 12월과 홍수기에 춘천 사북면천과 수입천이 비슷한 유출률을 나타내어 유출특성이 비슷함을 알 수 있었고, 전천과 주포천 및 하수남천인 경우는 원주시와 이에 인접한 횡성군의 유역으로 유역의 유출특성이 비슷한 것을 알 수 있었다.

2. 유황곡선 분석

5개 하천의 유황분석을 한 결과 [표 7]과 같이 이 값을 plot한 결과 [그림 6]과 같다. [표 7]은 5개 소하천의 유황분석치이고 이것을 그림표로 표시하면 [그림 6]과 같았다. 여기서 보는 바와 같이 춘천 사북면 신포천과 양구 수입천은 비슷한 유황곡선을 보여주었고, 전천과 주포천은 역시 인접한 소하천으로 비슷한 유황곡선을 나타내었고, 하수남천만 전천의 지류 소하천으로 다른 유황곡선을 나타내고 있음을 알 수 있다.

[표 8]과 같이 춘천 사북면천을 비롯한 5개 소하

Table 6. The depth of runoff by Kajiya E. for group I small watershed

(unit: mm, 비율)

River name	Item	Month											
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Sabuk myeon Cheon	precipit.	26.0	20.9	35.0	64.9	85.5	123.6	327.5	288.7	129.7	43.5	47.2	19.5
	runoff	11.92	11.33	16.47	34.31	35.36	45.57	229.28	194.55	80.02	23.6	19.57	12.37
	$y_i(Q/P)$	0.4585	0.5421	0.4706	0.5286	0.4136	0.3687	0.7001	0.6739	0.6170	0.5425	0.4146	0.6354
Chun Cheon	precipit.	22.4	25.0	48.9	77.7	85.7	147.3	327.3	294.3	143.5	53.4	42.4	28.0
	runoff	10.4	10.8	18.0	37.8	29.5	68.20	220.9	191.2	78.1	23.0	16.1	12.8
	$y_i(Q/P)$	0.4643	0.4320	0.3681	0.4865	0.3442	0.4630	0.6749	0.6497	0.5443	0.4307	0.3797	0.4571
Jupo Cheon	precipit.	24.2	28.2	54.6	91.7	99.3	148.0	318.8	292.6	154.0	70.8	49.1	31.5
	runoff	12.03	13.1	20.2	45.2	36.7	62.3	213.2	189.7	84.8	28.3	18.1	13.5
	$y_i(Q/P)$	0.4971	0.4645	0.3700	0.4929	0.3696	0.4209	0.6688	0.6483	0.5506	0.3997	0.3686	0.4286
Hasunam Cheon	precipit.	21.7	23.1	47.8	74.3	85.2	144.3	315.5	289.6	143.9	47.9	40.0	28.4
	runoff	10.3	10.5	17.7	36.2	29.3	68.7	210.2	187.0	78.4	22.6	15.5	12.9
	$y_i(Q/P)$	0.4746	0.4545	0.3703	0.4872	0.3439	0.4709	0.6662	0.6457	0.5448	0.4718	0.3875	0.4542
Suip Cheon	precipit.	18.7	24.6	34.1	44.6	90.3	132.6	283.6	197.8	120.3	33.3	43.5	24.5
	runoff	10.6	12.48	16.54	25.27	40.25	48.05	189.1	123.56	76.76	21.22	19.66	13.10
	$y_i(Q/P)$	0.5668	0.5073	0.4850	0.5666	0.4457	0.3624	0.6668	0.6247	0.6381	0.6372	0.4524	0.5347

Table 7. Discharge analyses of research watershed

(unit : m^3/s)

river name	drought disch. (355day)	low disch. (275day)	normal disch. (185day)	rich disch. (95day)	flood disch.
Sinpo C. Sabuk	0.84	1.68	3.86	9.97	
Chon C.	0.43	0.86	1.39	2.78	
Jupo C.	0.17	0.33	0.71	2.49	
Hasunam C.	0.10	0.19	0.31	0.63	
Suip C.	0.74	1.54	3.40	8.78	

천의 전체 유역면적이 38.24~320.49 km^2 로 되어있는 중 전(밭)은 구성비가 수입천인 경우 8.16 km^2 로 2.55%를 차지하여 제일 작고, 전천인 경우 15.82 km^2 로 9.3%를 차지하여 제일 큰 비율을 차지하고 있었다. 답(논)인 경우는 수입천인 경우 5.61 km^2 로 구성비가 1.75%로 제일 작고, 전천인 경우가 15.64 km^2 로 구성비가 9.2%를 차지하고 있어 두 유역을 비교할 때 전천은 전답의 비율이 큰

반면에 수입천은 작은 구성비를 가지고 있고 나머지 3개 소하천은 그 중간비율을 차지하고 있음을 알 수 있다.

임야의 구성비를 보면 주포천의 경우 면적이 70.36 km^2 로 84.62%를 차지하였고 나머지 4개 소하천도 구성비가 비슷한 70.37~76.0%를 차지하고 있어 5개 소하천 모두가 우리나라의 평균 임야 면적 구성비보다는 약간 상회하여 강원도의 산악지

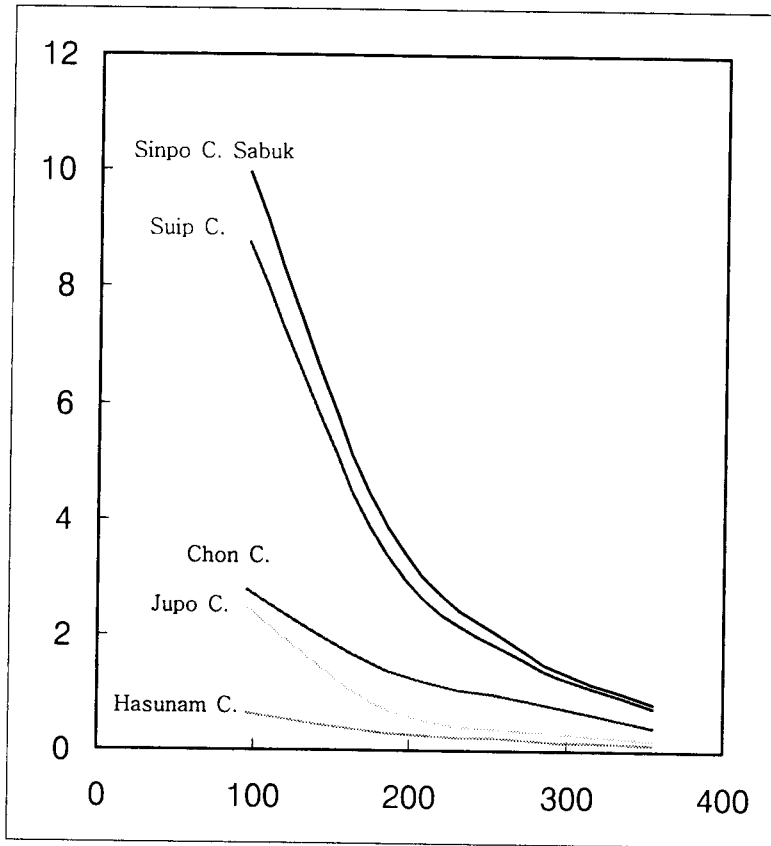


Fig. 6. Discharge curve of 5 small watershed.

Table 8. The situation of land use for four groups

(단위: km², %)

River name	Item	Watershed area	Dry filed	Rice filed	Forest	House site	Others
Sabukmyeon Cheon	area	80.66	4.86	3.21	61.30	0.80	10.49
	ratio		6.00	4.00	76.00	1.00	13.00
Chun Cheon	area	169.98	15.82	15.64	119.61	1.99	16.92
	ratio		9.30	9.20	70.37	1.17	9.96
Jupoo Cheon	area	83.15	2.88	6.53	70.36	2.58	0.80
	ratio		3.46	7.85	84.62	3.10	0.97
Hasunam Cheon	area	38.24	2.81	2.76	28.21	0.33	4.13
	ratio		7.35	7.22	73.77	0.86	10.80
Suip Cheon	area	320.49	8.16	5.61	237.61	0.53	68.58
	ratio		2.55	1.75	74.14	0.16	21.40

Table 9. The monthly coefficient of 5 small watershed (C_1, C_2, C_3, C_4, C_5)

(Multinomial expression $y = C_1X_1+C_2X_2+C_3X_3+C_4X_4+C_5X_5$)

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
Jan	-1.97410	2.53313	0.389863	0.769188	1.32026
Feb	2.37736	-2.95538	0.582784	3.81804	0.281362
Mar	2.10300	-2.56853	0.255271	8.72504	1.27619
Apr	0.623068	-0.23411	0.385762	4.88575	1.21957
May	0.960701	-1.22252	0.216087	7.65259	1.26236
Jun	-1.08222	3.20276	0.644519	-10.7329	-0.592175
Jul	1.97610	-0.755714	0.621683	4.07518	0.757937
Aug	2.03203	-0.871369	0.667803	2.52469	0.415809
Sep	1.57235	-1.373040	0.436839	7.13970	1.33990
Oct	0.477015	-1.208640	0.534115	0.477394	1.16556
Nov	0.385246	-0.101983	0.351615	1.85642	0.844409
Dec	5.99485	-6.726760	0.403481	12.8921	0.840101

대입을 말해주고 있다.

주거지역은 5개 소하천의 경우 0.16~3.10%의 구성비로 주포천이 3.1%로 제일 크고 대부분이 작은 구성비를 차지하고 있었으며 기타의 구성비로는 하천을 비롯한 나머지 유역면적으로 주포천의 경우 0.80km²로 구성비가 0.97%이고 수입천이 68.58 km²로 구성비가 21.40%를 차지하고 있어 각 유역 간에 기타 구성비가 편차가 크게 나타나고 있어 토지이용면에서 구성비를 볼 때 임야의 구성비가 가장 가까운 공통비 이외는 각각 토지이용의 특성이 다른 구성비를 이루고 있어 유출량비를 구하는 회귀방정식에 각각 영향을 미칠 것으로 예상된다.

IV. 분석 및 고찰

1. 다중회귀 1차 방정식

연구대상유역의 유출량에 영향을 주는 지표의 지형학적 특성인 토지의 이용을 면적백분율로 놓고 영향을 주는 인자의 계수를 각각 받은 C_1 , 논은 C_2 , 임야는 C_3 , 주거지는 C_4 및 기타는 C_5 로 놓고 강수량 P 를 적용할 때 유출량 Q 가 구해지는 다중 회귀 1차방정식을 표시하면 다음과 같다.

$$Q = (C_1X_1+C_2X_2+C_3X_3+C_4X_4+C_5X_5)P \quad \dots\dots (2)$$

$$y(Q/P) = C_1X_1+C_2X_2+C_3X_3+C_4X_4+C_5X_5 \quad \dots\dots (3)$$

여기서, X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 : 밭(전), 논(답), 임야, 주거지 및 기타의 백분비

$y=Q/P$: 유출량을 강수량으로 나눈 값 (유출률)

2. 분석

5개 소유역이 3개 소유역권으로 춘천, 원주, 양구 등에 위치한 5개 소하천은 위치와 하천유역형상 등 지형적인 인자가 다른 것을 5개 소하천에 5개 토지이용 인자를 다항식에 적용하여 월별로 산출한 결과 [표 9]와 같다.

3. 월별 상관계수

[표 10]에서 보는 바와 같이 각 소하천의 월별로 구한 강수량 관측치로부터 Kajiyama 공식을 통하여 얻는 유출고(관측치)와 회귀다중1차방정식에서 얻은 계산치와 상관계수(r)를 월별로 구한 결과 거의 1.0000에 접근하였음을 알 수 있다.

Table 10. The relative coefficient of monthly observed and calculated Runoff

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

4. 면적비와 유출량비

[표 11]에서 보는바와 같이 5개 유역의 토지이용의 면적비와 회귀방정식에서 얻은 유출량비와를 비교한 것을 나타내고 있다.

사북면 소하천인 경우는 토지이용비에서 임야에서 76.0%를 차지하고 있는데 계산치에서는 5월

의 39%, 6월의 132.85%를 제외하면 거의 토지이용율에 따라 유출량비에 비례해서 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 또한 6월인 경우 다른 소유역 전천과 주포천 및 하수남천에도 임야가 100.96% ~ 132.85%로 크게 영향력을 나타내었으나, 다른 인자인 밭(전)과 주거지 및 기타가 공히 부치(-)로 작용하여 유출량비 합계 100%에는 영향이 없음을 알 수 있고 회귀방정식의 계수 C_1 , C_2 , C_3 , C_4 및 C_5 가 합당하게 유도됨을 알 수 있었고, 서로 유역특성이 다른 인자들을 가진 소유역들을 같은 회귀식으로 표시되는 과정에서 나타난 계산상의 표시이며, 먼저 연구한(2004년도) 유역의 특유출특성이 비슷한 유역을 군으로 묶어서 회귀방정식으로 구한 경우가 보다 합리적인 면을 보여주었다.

Table 11. The ratio of land area and runoff of land use

river name	Item	Dry field	Rice field	Forest	House site	Others	Total runoff
Sabuk small river	Area ratio (%)	6.00	4.00	76.0	1.0	13.0	100
	Jan run. ratio	-25.83	22.10	64.62	1.68	37.43	100
	Feb run. ratio	26.31	-21.80	81.70	7.04	6.75	100
	Mar run. ratio	26.81	-21.83	41.23	18.54	35.25	100
	Apr run. ratio	7.07	-1.77	55.46	9.25	29.99	100
	May run. ratio	13.94	-11.82	39.71	18.50	39.67	100
	Jun run. ratio	-17.61	34.75	132.85	-29.11	-20.88	100
	Jul run. ratio	16.94	-4.32	67.49	5.82	14.07	100
	Aug run. ratio	18.09	-5.17	75.31	3.75	8.02	100
	Sep run. ratio	15.29	-8.90	53.81	11.57	28.23	100
	Oct run. ratio	5.28	-8.91	74.83	0.01	27.93	99.14
	Nov run. ratio	5.57	-0.01	64.45	4.47	26.47	100.95
	Dec run. ratio	56.61	-42.35	48.26	20.29	17.19	100
Chon Cheon	Area ratio (%)	9.3	9.2	70.37	1.17	9.96	100
	Jan run. ratio	-39.54	50.19	59.09	1.94	28.32	100
	Feb run. ratio	51.18	-62.94	94.93	10.34	6.49	100
	Mar run. ratio	53.13	-64.19	48.80	27.73	34.53	100
	Apr run. ratio	11.91	-4.43	55.80	11.75	24.97	100
	May run. ratio	25.96	-32.68	44.18	26.01	36.53	100
	Jun run. ratio	-21.74	63.64	97.96	-27.12	-12.74	100
	Jul run. ratio	27.23	-10.30	64.82	7.06	11.19	100
	Aug run. ratio	29.09	-12.34	72.33	4.55	6.37	100
	Sep run. ratio	26.87	-23.21	56.48	15.35	24.51	100
	Oct run. ratio	10.30	-25.82	87.27	1.30	26.95	100
	Nov run. ratio	9.44	-2.47	65.16	5.72	22.15	100
	Dec run. ratio	1.2342	-137.01	62.85	33.39	18.52	101.17

(Continued)

Table 11. The ratio of land area and runoff of land use (Continued)

river name	Item	Dry field	Rice field	Forest	House site	Others	Total runoff
Jupo Cheon	Area ratio (%)	3.46	7.85	84.62	3.1	0.97	100
	Jan run. ratio	-13.74	40.00	66.36	4.80	2.58	100
	Feb run. ratio	17.71	-49.95	106.17	25.48	0.59	100
	Mar run. ratio	19.66	-54.49	58.38	73.10	3.35	100
	Apr run. ratio	4.37	-3.73	66.23	30.73	2.40	100
	May run. ratio	8.99	-25.96	49.47	64.19	3.31	100
	Jun run. ratio	-8.90	59.73	129.58	-79.05	-1.36	100
	Jul run. ratio	10.22	-8.87	78.66	18.89	1.10	100
	Aug run. ratio	10.84	-10.55	87.16	12.07	0.62	100.14
	Sep run. ratio	9.88	-19.58	67.14	40.20	2.36	100
	Oct run. ratio	4.13	-23.74	113.08	3.70	2.83	100
	Nov run. ratio	3.62	-2.17	80.72	15.61	2.22	100
	Dec run. ratio	48.39	-123.20	79.66	93.25	1.90	100
Hasu- nam Cheon	Area ratio (%)	7.35	7.22	73.77	0.86	10.8	100
	Jan run. ratio	-30.57	38.54	60.60	1.39	30.04	100
	Feb run. ratio	38.45	-46.95	94.59	7.22	6.69	100
	Mar run. ratio	41.74	-50.08	50.85	20.26	37.22	99.99
	Apr run. ratio	9.40	-3.46	58.41	8.62	27.03	100
	May run. ratio	20.53	-25.66	46.35	19.14	39.64	100
	Jun run. ratio	-16.89	49.11	100.96	-19.60	-13.58	100
	Jul run. ratio	21.80	-8.19	68.84	5.26	12.29	100
	Aug run. ratio	23.13	-9.74	76.30	3.36	6.95	100
	Sep run. ratio	21.21	-18.19	59.15	11.27	26.56	100
	Oct run. ratio	7.43	-18.49	83.51	0.87	26.68	100
	Nov run. ratio	7.31	-1.90	66.94	4.12	23.53	100
	Dec run. ratio	97.01	-106.92	65.53	24.41	19.96	99.99
Suip Cheon	Area ratio (%)	2.55	1.75	74.14	0.16	21.40	100
	Jan run. ratio	-8.88	7.82	50.99	0.22	49.85	100
	Feb run. ratio	11.95	-10.19	85.17	1.20	11.87	100
	Mar run. ratio	11.06	-9.27	39.02	2.88	56.31	100
	Apr run. ratio	2.80	-0.72	50.48	1.38	46.06	100
	May run. ratio	5.50	-4.80	35.94	2.75	60.61	100
	Jun run. ratio	-7.61	15.47	131.85	-4.74	-34.97	100
	Jul run. ratio	7.56	-1.98	69.12	0.98	24.32	100
	Aug run. ratio	8.29	-2.44	79.26	0.65	14.24	100
	Sep run. ratio	6.28	-3.77	50.76	1.79	44.94	100
	Oct run. ratio	1.91	-3.32	62.15	0.12	39.14	100
	Nov run. ratio	2.17	-0.39	57.62	0.66	39.94	100
	Dec run. ratio	28.59	-22.02	55.95	3.86	33.62	100

이와 같이 2004, 2005년도의 연구를 종합해볼 때에 소유역의 유출특성은 토지이용율에 주도적인 영향을 받고 있으며, 유역의 지형적인 특성이 유출특성과 비슷한 유역을 묶어서 회귀방정식을 구할 경우는 더욱 합리적으로 표시되고, 비록 거리가 떨어진 다른 소유역이나 유출특성이 다를 경우라도 회귀방정식을 묶어서 C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 를 구하기만 하면 유출량비 방정식 $y = C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + C_4X_4 + C_5X_5$ 에는 어떠한 문제도 발생하지 않았고 유도한 회귀방정식의 계산을 해서 부(-)의 인자가 발생해도 유출량비를 합계한 것이 100%이기 때문에 문제될 것이 없다. 따라서 이 방법을 응용해서 회귀방정식을 미계측 소하천에 토지이용 면적비를 알고 적용한다면, 그 소하천에 실측 강수량이든 추정된 설계 강우이든 얻어지면 월별유출량을 얻을 수 있었다. 그러므로 소유역의 수자원의 월별 수요량과 강수량을 추정하면 공급량에 과부족을 알 수 있어 수자원 종합계획 수립에 도움을 줄 수 있다고 본다.

V. 적 요

본 연구는 강원도 춘천시 사북면 소하천유역, 원주시 전천, 주포천, 하수남천 소유역과 양구군 수입천 소유역을 대상으로 5개 소하천의 토지이용별(전, 답, 임야, 주거지 및 기타)로 나누어 면적백분율을 구하고, 각 소유역의 월별 강수량을 Kajiya식에 적용하여 월별 유출고를 구하여, 강수량과 유출고와의 비, 유출비를 토지이용의 면적비가 유출에 영향을 주는 것을 착안하여 다중회귀1차방정식으로 추정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 유출률은 유역특성이 비슷한 사북면 소하천과 수입천 유역에서는 강수량이 적은 1, 2, 3, 11, 12월에는 0.41 ~ 0.56이고, 강우량이 많은 7, 8, 9월은 0.61 ~ 0.7 범위였으며, 전천, 주포천 및 하수남천인 경우는 0.36 ~ 0.49와 0.54 ~ 0.66이었다.

2. 다중회귀1차방정식인 유출량 $Q = (C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + C_4X_4 + C_5X_5)P$ 를 얻었다(P는 강수량).

3. 다중1차회귀방정식에서 구한 계수 C_1, C_2, C_3, C_4 및 C_5 를 상관계수로 검증한 결과 대단히 유의성이 높고 상관성이 인정되었으며, 면적비가 유출량비에 대단히 비례적 상관성이 인정되나 5개 소유역을 뺏어져서 계수 C_1, C_2, C_3, C_4 및 C_5 를 구할 때 유역의 유출특성이 비슷하고 강수량이 유사한 소하천을 묶어서 구하는 것이 훨씬 합리성이 있음을 보여 주었다.

4. 연구대상유역 또는 인접한 유역에 30, 50, 80, 100, 200년 빈도의 강수량을 산출해서 다중회귀식에 대입하면 월별 유출량 예상치를 추정할 수 있다.

5. 미계측 하천이나 서로 유역특성이 다른 유역끼리도 5개 권역을 묶어서 토지이용 면적비로 계수 C_1, C_2, C_3, C_4 및 C_5 를 구하면 월별 유출량 Q를 강수량 P만 대입하면 얻을 수 있다.

6. 앞으로 수자원의 합리적인 개발 및 이용을 위하여 소유역별 유출량을 강수량에 따라 추정해냄으로서 유역의 수자원 종합관리계획과 수자원 유역통합관리계획수립에 도움이 될 것으로 사료된다.

VI. 참고문헌

- Im Sang Jun, K.M. Brannan and saied Mostaghimi, 2003 Calibration and Validation of the HDPF Model on an Urbanizing Watershed in Virginia, USA, Water Engineering Research, Vol.4 No.3, pp. 141-154.
- Mishra S. K, M.K.Jain, A.K.Rastoyi and V.P. Singh, 2003. Comparison of Existing and Modified SCS-CN Models, Proceedings of the International Conference on Water and

- Environment (WE-2003), Watershed Hydrology, pp. 104-122, Dec. 15-18. 2003, Bhopal, India.
- Rakhecha P. R. and V. P. singh Some Aspects of Hydrometeorology of Madhy a Pradesh, Proceedings of the International Conference on Water and Environment (WE-2003), Watershed Hydrology, pp. 3-17, Dec. 15-18. 2003, Bhopal, India.
- Singh, R, K.N. Tiwari and B.C. Mal, 2003. Watershed Parameters and AGNPS Model sensitivity to Cell Size, Proceedings of the International Conference on Water and Environment (WE-2003) Bhopal. India, Advances in Hydrology, pp. 86-100, Dec. 15-18. 2003
- Tiwari A. K. and V. N. Sharda. 2003. Overland Flow Routing Through Time-Area Segments in Small Catchment. Proceedings of the International Conference on Water and Environment (WE-2003), Watershed Hydrology, pp. 158-167, Dec 15-18, Bhopal, India.
- 강신욱, 이동률 외 1인, 2004. 토양수분 저류구조를 가진 탱크 모형의 보정에 관한 연구, 한국수자원학회 논문집, Vol.27, No.2, pp. 133-144.
- 김경탁, 최윤석, 2003. 유역 분할에 따른 유출응답에 관한 연구. 한국수자원학회 논문집, Vol.36, No.2, pp. 911-924.
- 김성준, 김선주 외3인, 2003. 홍수기 논의 저류량 산정모형 개발 및 적용. 한국수자원학회 논문집. Vol.36 No.6, pp. 901-910.
- 김지호, 박영진, 최인호, 송재우, 2004. 산지유역의 합리식 유출계수 산정에 관한 연구, 2004년 한국 수자원학회 학술발표회, 2004. 5. 14 ~ 15. 제1분과(수문모형/수문해석/지하수).
- 김창완, 2003. 하천진화모형을 이용한 안정하천의 설계, 建設技術情報. 통권230호, 2003. 1. 한국 건설기술연구원, 수자원환경연구부, pp. 11-18.
- 우효섭, 이삼희외 14명, 2000, 자연형 하천공법의 개발, 양재천 시험적용, G-7 연구과제, 환경부, 국립환경연구원, 한국건설기술연구원, 서울대 환경계획연구소, 2000. 10.
- 유동훈, 수유역 및 대유역 홍수유출모형의 적용, 한국수자원학회, 한국수자원학회논문집, Vol. 36. No.1, pp. 87-104. 2003. 2.
- 유양수, 2003년 다목적 물관리 전망 및 시스템 개선계획, 水資源情報, Vol. 8. No.1. 통권 25호, pp. 2-11. 2003. 3
- 윤태훈, 생태환경수리학, 淸文閣, pp. 6-107, 2003.
- 이삼희, 2003. 물의 관리. ①하천에 생명을 불어넣자. 동아일보 2003. 1. 7 pp. A15.
- 이찬주, 우효섭 외 2인. 2004. 지형 인자를 이용한 하천분류 체계의 적용성 검토, 한국수자원학회논문집 Vol.37, No.1 pp. 1-11.
- 장석환, 배종원, 한건연, 2002. 바람직한 자연형 소하천 정비방향연구 2002년 분과위원회 연구과업보고서, 한국수자원학회, pp. 101-157, 2002. 12. 13.
- 전병호, 2002. 유역종합치수 계획수립의 문제점과 개선방안, 한국물학술단체연합회 제5회 물포럼, pp 1-22.
- 정선균, 2001. 임계천하천정비기본계획보고서, 2001. 6. pp. 1-240
- 최예환, 최종대, 2004. 소유역의 토지이용이 유출특성에 미치는 영향, 2004년 한국 수자원학회 학술발표회, 2004. 5.14 ~ 15, 제1분과(수문모형/수문해석/지하수).
- 최지용, 2003. 유역의 수질 환경생태관리 방안. 제 11회 세계 물의 날 기념 심포지움, 우리나라의 유역 물관리 개선방안, 한국수자원학회, 한국수자원공사.
- 평창군, 2003.1. 소하천정비 종합계획(제Ⅱ권역), pp. 1-1892.
- 元泰常, 1964, 河川工學, 文運堂, pp. 1-232.