

5대하천의 유출변동분석과 연유출량추정모형의 개발

이 동률*, 홍 일표*, 김 남원**, 서 병하***

1. 서 론

우리나라의 수자원사업은 그동안 많은 사업이 수행된 홍수관리와 같은 치수사업과 더불어 물의 안정적 공급과 같은 이수사업에도 많은 비중을 두고 있다. 이수사업은 최근 용수수요의 급증과 맑은 물에 대한 국민적 관심으로 사업의 중요성이 더욱 강조되고 있다. 특히 2000년대에 도래할 고도산업사회를 맞이하는 시점에서 현재의 가용수자원으로는 2000년대의 용수수요를 충족시키지 못한다는 연구결과(7)를 볼때 용수의 안정적 공급을 위한 대책을 절실히 요구하고 있다.

현재까지 우리나라는 많은 수자원개발을 수행하였으며 이들 개발사업을 기초로 21세기에 대비한 장기수자원계획을 수립하고 있다. 우리나라에서 수행한 수자원개발사업과 계획을 단계적으로 분류하면 개략적으로 표 1.1과 같이 5단계로 분류할 수 있다고 본다.

표 1.1 우리나라의 수자원개발과 계획 단계

단 계	기 간	내 용
제 1 단계	1916-1954년	개발 초기 단계
제 2 단계	1955-1969년	개발 중간 단계
제 3 단계	1970-1990년	개발 완성 단계
제 4 단계	1991-2011년	장기수자원종합계획 수립
제 5 단계	2012-2041년	초장기수자원종합계획 수립예정

본 연구의 목적은 현재 제3단계의 수자원사업이 완료된 상황에서 각 단계별 수자원개발에 의한 우리나라 주요 하천, 즉 한강, 낙동강, 금강, 섬진강, 영산강의 유출변동을 분석하여 유출특성을 파악하고 수자원개발사업의 효과를 평가하는 것이다. 또한 이들 유출특성을 이용하여 5대 하천에 적용할 수 있는 연유출량추정모형을 각각 개발하는 것이다.

본 연구를 위하여 표 1.1의 각 수자원개발 단계별로 강수량, 수위자료, 유량측정자료, 수위-유량관계곡선 등 광범위한 자료를 수집하였다. 유량환산은 유량측정자료를 이용하여 작성된 수위-유량관계곡선 또는 수집된 수위-유량관계곡선을 이용하였다. 수위의 유량환산시 수위자료의 정확성을 위하여 각 유역에서 선정된 지점의 수위자료를 도시하여 잘못된 수위자료를 보정하였고 저수위 부분의 유량환산에 많은 배려를 하였다. 각 유역별로 산정된 유량과 Thiessen 법에 의해 산정된 유역평균강수량의 관계에서 유출특성을 분석하였다. 또한 수자원개발의 영향이 비교적 적다고 판단되는 기간의 강수량과 유출량자료를 이용하여 연유출량추정모형을 개발하였다. 개발된 모형을 그동안 많은 논란이 되어온 가지야마공식과 비교검토하였다.

* 정회원 : 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원

** 정회원 : 한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구원

*** 정회원 : 한국건설기술연구원 수자원연구실장

본 연구로 5대하천의 유출특성과 그동안 수행된 수자원개발사업에 의한 영향을 분석할 수 있고 개발된 연유출량추정모형을 이용하여 월유출량을 추정할 수 있을 것이다.

2. 자료의 수집과 보완

본 연구의 분석자료는 대부분 한국건설기술연구원의 수문자료 데이터베이스, 건설부에서 수행한 수자원관리기법조사연구보고서⁽¹⁾와 수자원장기종합계획보고서⁽⁷⁾에서 수집하였고 일부 강수량자료는 기상청에서 수집하였다.

2.1 강수량

우리나라 주요 하천유역의 강수특성을 분석하기 위하여 기상청 65개 관측소의 강수자료를 수집하였다. 기상청의 관측소는 인천, 목포, 부산 관측소가 1904년에 기상관측을 시작하였으며 대부분의 관측소가 1971년에 신설되어 관측을 개시하고 있다. 따라서 자료기록년수는 7개 지점이 87년이며 대부분의 지점이 최근 22년이다. 강수량을 분석하기 위해서는 관측지점마다 기록년수가 많고 같은 관측기간의 강수자료를 이용하는 것이 바람직하다. 수자원 장기종합계획('91-2011)보고서⁽⁷⁾에서는 1905년~1988년 동안 적어도 70년 이상의 관측기록이 있는 7개 지점 즉, 강릉, 서울, 인천, 대구, 전주, 부산, 목포의 자료를 이용하여 주성분 분석기법(principal component analysis)으로 기록년수가 짧은 지점을 보완하여 65개 기상청 관측소 자료를 83년(1905-1988)의 자료년수로 확충하였다. 본 연구에서는 이 확충자료와 88년 이후에 관측된 3개년(1989-1991)자료를 수집하여 65개 관측소의 87년(1905-1991)강수자료를 이용하였다.

2.2 수위

5대하천의 유출특성을 분석하기 위하여 각 하천의 주요 수위관측지점을 선정하였다. 선정된 지점들을 자료기록기간과 함께 표 2.1에 나타냈다. 한강에서는 1945년이전 인도교지점의 자료기간이 짧고 연속적이지 못하며 건조영향을 받는 지점임을 고려하여 고안지점을 선정하였다.

표 2.1 각 지점별 수위자료 현황

하 천	수위관측지점	수집자료기간	결 측 기 간
한 강	고 안	1917~1991	1941~1953, 1957, 1958, 1964, 1965
낙동강	진 동	1924~1991	1941~1954, 1956, 1957, 1987
금 강	공 주	1918~1991	1940~1953, 1964, 1965, 1986, 1989
섬진강	송 정	1918~1991	1941~1956, 1958, 1961, 1990
영산강	나 주	1916~1991	1941~1954

표 2.1의 결측기간은 1년 중에 결측된 수위가 1일이라도 있으면 그 해당년은 결측기간으로 나타낸 것이다. 결측기간을 제외한 모든 기간의 일수위자료를 1년 단위로 도시 하여 이산치를 수 정보완하였다. 이와같은 과정에서 한국수문하천조사서 수위편⁽²⁾, 한국수문조사서⁽³⁾의 수위자료에 많은 자료가 오기되어 있음을 알 수 있었다. 또한 공주지점은 수위표의 재설치로 인하여 1940년 7월을 전후로 약 1m의 수위변화가 있었다. 이런 수위변화로 공주지점에서는 1940년 7월 이전에 적용할 수 있는 수위-유량관계곡선이 없어 이후에 관측된 수위-유량곡선을 적용시에 약 1m 정도 더해주어서 계산해야 할 것이다.

2.3 수위-유량관계곡선

우리나라의 수문관련 종사자들이 겪는 가장 어려운 문제의 하나는 유량자료의 수집이라고 해도 지나치지 않을 것이다. 그동안 많은 유량관측을 수행하여 왔지만 저수위, 고수위 부분에서 유량환산 문제가 항상 대두되어 왔다. 이와같은 상황을 해결하기 위하여 최근에는 저수위, 고수위의 유량측정에 많은 노력을 하고 있으나 문제는 과거 수집된 자료의 유량환산 문제이다. 본 연구는 관측개시년부터 측정된 자료를 이용하기 때문에 이와같은 문제를 가지고 있다.

본 연구에서 고수위 부분은 기존 측정된 유량자료를 이용하여 작성된 수위-유량관계식 또는 수집된 수위-유량관계식의 이용으로 무리가 없을 것이라고 가정하였다. 그러나 저수위 부분은 적용할 수 있는 수위-유량곡선관계식이 많지 않다. 특히 (-)수위의 경우는 더욱 그러하다. 따라서 본 연구에서는 저수위 부분에서 적용할 수 있는 수위-유량관계에 많은 노력을 기울였다.

일반적으로 저수위시에 적용할 수 있는 수위-유량관계곡선은 식(1), (2)와 같이 가정할 수 있다고 본다.

$$Q = aH^b \text{ ----- (1)}$$

$$Q = aH+b \text{ ----- (2)}$$

여기서 Q는 추정유량, H는 수위, a와 b는 상수이다. 그러나 식(1)의 경우는 (-)수위에서 대수치를 적용할 수 있는 변환이 필요하며 식(2)는 일반적인 H와 Q의 비선형 관계를 선형관계로 보는 가정에 무리가 있고 식(1)보다 상대적으로 H의 하한치 선정에 어려움이 따른다.

본 연구에서 선정된 수위관측지점의 1945년 이전에 개략적인 영점표고에서 최심하상고까지 깊이를 보면 고안 (-)4m, 진동 (-)6m, 공주 0m, 송정 0m, 나주 (-)1m 정도이며 이후에는 약간의 변화가 있었다. 따라서 4개 지점이 저수위 부분에 (-)수위를 가지고 있고 실측자료의 부족으로 식(1)의 적용은 어렵다. 또한 식(2)의 적용도 영점표고에서 최심하상고까지의 수심이 (-)1~(-)4m로 선형으로 가정하기에는 무리가 있다고 생각된다.

본 연구에서는 (-)수위에서 적용할 수 있고 수위와 유량의 비선형관계를 나타낼 수 있도록 식(3)과 같이 저수위시에 수위-유량관계를 지수형태로 가정하였다.

$$Q = ae^{bH} \text{ ----- (3)}$$

여기서 Q는 추정유량, H는 수위, a, b는 상수이다. 그림 2.1에 식(3)을 적용하는 방법을 도시하였다. 그림 2.1은 반대수지상에서 저수위시 임의의 관측유량에서 유량이 0(zero)인 최심하상고까지 직선으로 연결하여 식(3)을 적용한다. 그러나 반대수지상에서 0(zero) 유량을 표시할 수 없으므로 추정유량의 유효자리수를 두자리로 보고 0.01을 0(zero) 유량으로 가정하였다.

우리나라에서 저수위 유량산정은 일반적으로 식(2)의 적용, 강우-유출관계에서 산정된 최저유량을 저수위시의 유량으로 가정한다. 이들 방법과 본 연구에서 적용한 방법은 저수위시의 유량 측정자료가 있다면 서로 비교가능하지만 현재로서는 장단점 또는 잘못된 방법이라는 판단은 어렵다고 본다. 따라서 앞으로 위와같은 관계식을 비교분석하기 위하여 실험연구 또는 실측연구가 필요하다.

2.4 유량

본 연구에서 유량산정은 수집한 수위-유량관계곡선, 실측유량자료와 식(3)을 적용하여 작성한 수위-유량관계곡선을 이용하였다. 그리고 공주지점의 1940년 7월 이전은 기록수위에 1m를 더

해주어 유량을 산정하였다. 그러나 1m는 추정치로 다른 기간에 비하여 유량환산에 상대적 오차가 클 것으로 예상된다. 또한 고안지점의 1974-1991년의 유량은 팔당댐 방류량 자료를 이용하였다.

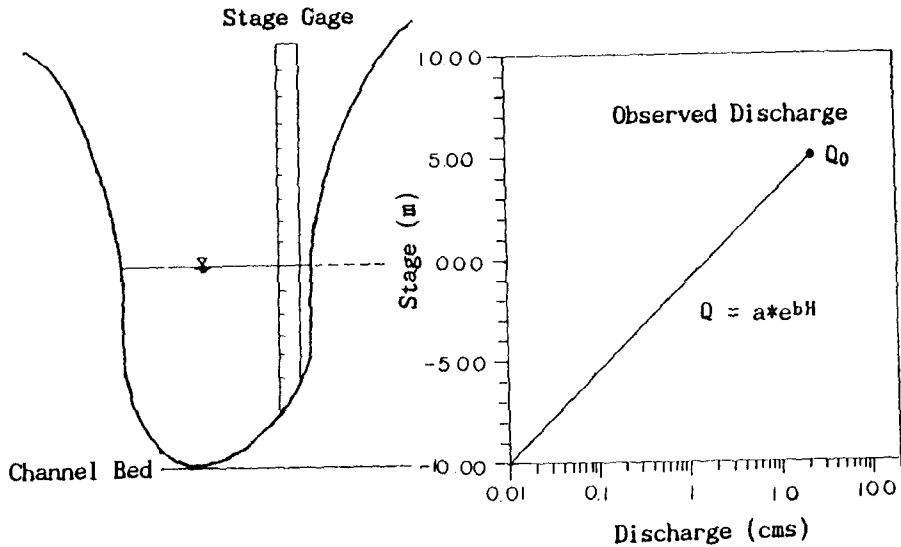


그림 2.1 본 연구에서 적용한 저수위시 수위-유량관계

3. 유출율분석

본 연구의 유출을 분석지점은 대한천인 한강의 고안, 낙동강의 진동, 금강의 공주, 섬진강의 송정, 영산강의 나주 지점이다. 각 하천유역에서 지점별로 Thiessen법으로 산정한 월평균강수량과 유출용적의 관계로부터 유출율을 산정하였다.

유출율분석은 유출특성의 파악과 수자원개발사업에 의한 영향을 평가하기 위하여 표 1.1에서 제시한 수자원개발의 각 단계별 기간에 대하여 각각 분석하였다. 5개지점에서 분석된 유출율을 그림 3.1~3.5에 각 지점별로 도시하였다.

그림 3.1~3.5에서 월유출율은 1월부터 점점 감소하여 6월에 최저유출율을 나타내고 우기가 계속됨에 따라 7월에서부터 점점 증가하다 10월부터 다시감소하는 경향을 보이고 있다. 1월부터 6월까지의 유출율감소는 표 3.1의 유역별 월평균강수량이 1월부터 6월까지 계속 증가하는 것을 볼 때 강수량에 의한 유출량이 상대적으로 적음을 알 수 있다.

따라서 1월부터 6월까지의 침투량과 증발산량의 영향이 매우 큼을 알 수 있다. 예로 표 3.2의 한강유역의 증발량은 강수량의 증가 경향과 같이 5월까지 계속 증가하여 유출의 감소원인이 됨을 알 수 있다. 이와같은 침투량과 증발산량의 영향으로 1월에서 6월까지의 유출량은 지하수의 유출이 지표수의 유출보다 상대적으로 큰 영향을 준다고 판단된다. 그리고 7월부터의 증가는 이전의 강수에 의한 토양의 함양, 강수량의 증가, 증발량의 감소로 유출율이 증가한다. 10월이후는 강수량은 감소하지만 증발량이 감소하고 우기의 강수량에 의한 함양으로 지하수의 영향이 크게 작용하여 유출율이 같은 강수량을 갖는 우기이전보다 상대적으로 크게 나타났다.

이상과 같은 12개월 기간동안의 유출특성분석과 함께 수자원개발사업에 따른 월유출율의 변동을 분석하였다. 그림 3.1은 한강의 고안지점의 유출계수로 수자원개발 각 단계별로 갈수기의 유출율이 상당히 증가하여 유황이 개선되고 홍수기의 유출율은 완만해져 댐 건설로 인하여 홍수조절이 효율적으로 이루어졌음을 알 수 있다. 그림 3.2는 낙동강 진동지점의 유출계수로 각 단계

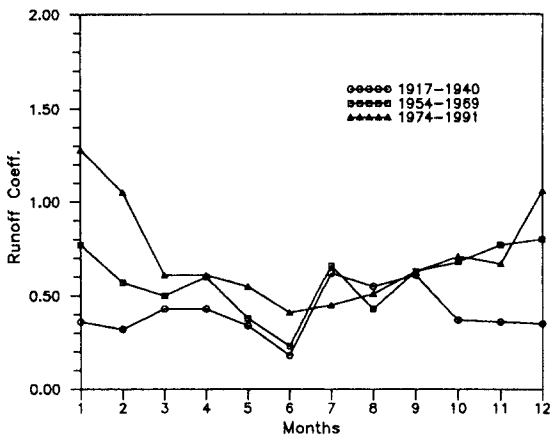


그림 3.1 한강 고안지점의 월유출계수

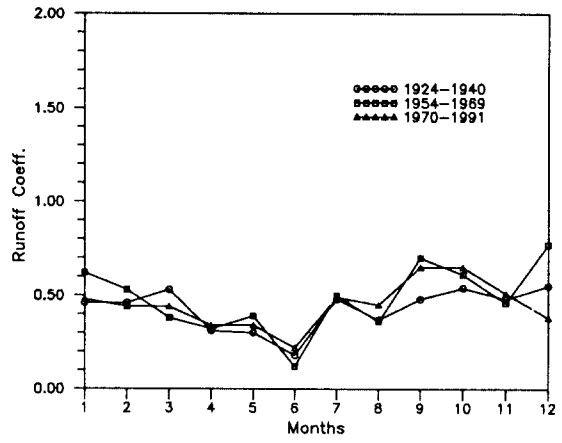


그림 3.2 낙동강 진동지점의 월유출계수

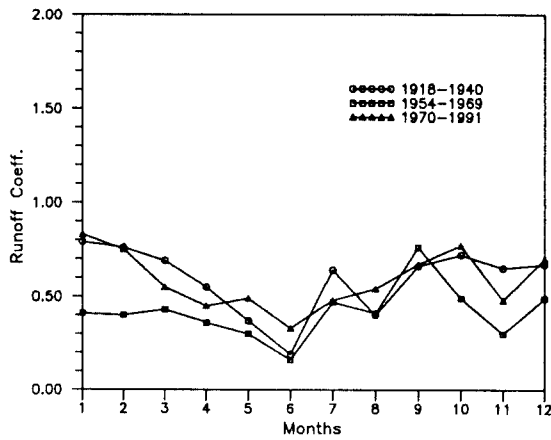


그림 3.3 금강 공주지점의 월유출계수

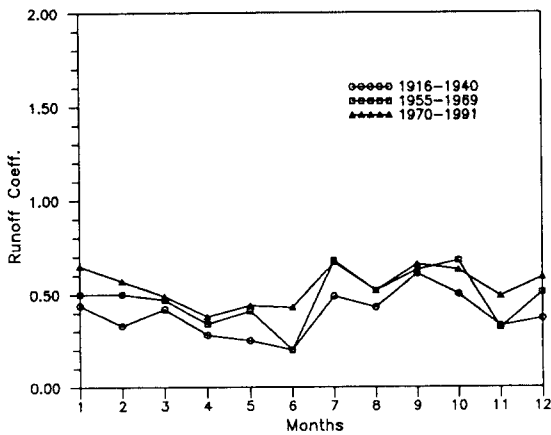


그림 3.5 영산강 나주지점의 월유출계수

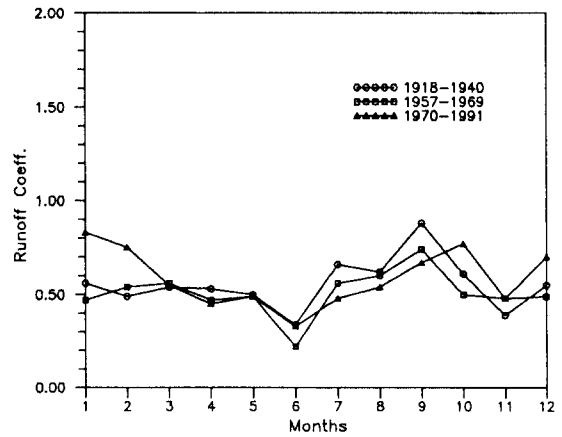


그림 3.4 섬진강 송정지점의 월유출계수

표 3.1 유역별 평균강수량
(1959~1991)

(단위 : mm)

유역 월	한 강	낙동강	금 강	섬진강	영산강
1	25.5	24.5	29.2	35.0	37.1
2	29.2	35.0	35.5	46.7	47.8
3	55.0	60.3	61.8	65.2	61.6
4	86.2	98.9	92.3	119.4	114.9
5	92.1	86.7	89.9	109.7	105.5
6	138.3	155.3	152.3	189.6	177.8
7	328.1	253.7	308.3	314.1	279.3
8	265.6	218.3	240.1	258.7	222.8
9	171.6	143.2	138.6	156.1	152.0
10	51.7	46.5	48.9	54.7	53.2
11	48.5	43.4	52.5	56.5	56.5
12	24.5	20.5	28.5	30.7	32.2
년	1316.2	1186.3	1277.8	1436.3	1340.8

표 3.2 한강유역의 증발량⁽⁸⁾
(1973~1989)

(단위 : mm)

구분 월	증발량	저수지 증발량
1	33.2	22.6
2	40.1	28.1
3	73.8	51.7
4	166.6	80.9
5	144.4	101.4
6	134.3	94.0
7	114.9	80.4
8	118.7	83.1
9	94.7	66.3
10	70.7	49.5
11	43.0	30.1
12	32.3	22.6
년	1014.7	710.4

별로 부분적으로 약간의 증가는 있으나 갈수기의 유허개선과 홍수기의 홍수조절의 효과가 뚜렷하지 않다. 그림 3.3은 금강의 공주지점으로 대청댐 건설로 갈수기에 유허의 개선은 있으나 홍수조절의 효과가 상대적으로 적게 나타났다. 그림 3.4는 섬진강의 송정지점으로 갈수기에 부분적인 유허개선과 홍수조절의 효과를 나타내고 있으나 그 효과는 크지 않음을 알 수 있다. 그림 3.5는 영산강의 나주지점으로 갈수기의 유허개선 효과를 알 수 있으나 홍수기의 홍수조절 효과는 나타나지 않았다.

이상과 같은 분석으로 수자원개발사업의 효과가 가장 큰 하천은 한강으로 갈수기의 유허개선과 홍수기의 홍수조절효과를 뚜렷하게 알 수 있다. 그러나 낙동강, 금강, 섬진강, 영산강의 경우 갈수시의 유허개선 또는 홍수기의 홍수조절에 일부분 개선효과를 보여주고 있으나 그 효과는 상대적으로 적게 나타났다.

4. 연유출량추정모형의 개발

본 연구에서는 월유출량분석과 함께 연유출량을 분석하여 한강, 낙동강 등 5대하천에 각각 적용할 수 있는 연유출량추정모형을 개발하였다. 연유출량추정모형을 개발하기 위해서는 가능한 수자원개발사업의 영향이 없는 기간을 선정해야 한다. 본 연구에서 산정한 기간과 모형 및 결정계수를 표 4.1에 나타내고 5대하천의 연강수량과 연유출량의 관계를 그림 4.1~4.5에 나타내었다. 그림 4.1~4.5에서 연유출량은 연강수량에 비례함을 알 수 있다. 연유출량추정모형은 강우-유출관계를 비선형으로 가정하여 개발하였다. 공주지점의 경우 1940년 이전 자료는 자료의 신뢰성 문제로 제외하였다. 표 4.1에서 개발된 연유출량모형의 결정계수를 보면 고안, 진동, 나주지점에서 좋은 결과를 보여 주는 반면에 공주와 송정지점은 상대적으로 낮게 나타났다. 이는 공주와 송정지점의 자료의 신뢰도가 상대적으로 낮음을 보여 준다고 할 수 있다.

표 4.1 5대하천의 연유출량추정모형

하 천	지 점	분석기간	연유출량추정모형	결정계수
한 강	고 안	1917~1963	$R = 6.20 \times 10^{-4} P^{1.934}$	0.71
낙동강	진 동	1917~1980	$R = 6.37 \times 10^{-5} P^{2.238}$	0.74
금 강	공 주	1954~1974	$R=0.019 P^{1.446}$	0.40
섬진강	송 정	1918~1965	$R=0.055 P^{1.321}$	0.54
영산강	나 주	1916~1970	$R=7.86 \times 10^{-5} P^{2.207}$	0.77

주) R: 연유출고(mm), P: 연강수량(mm)

개발된 연유출추정모형으로 추정된 연유출량과 가지야마 월유출고공식을 이용하여 산정한 연유출량을 비교하였다. 가지야마공식에 사용된 f값은 실측치와의 검정을 통하여 산정하였으며 표 4.2에 검정된 f값을 나타내었다.

표 4.2 5대하천의 가지야마 공식의 검정 f값

지 점	고 안	진 동	공 주	송 정	나 주
f 값	0.9	1.4	1.0	1.1	0.8

표 4.1의 연유출량추정모형과 검정된 f값을 이용하여 가지야마공식으로 산정한 연유출량을 비교하기 위하여 그림 4.6~4.10에 실측치(45°선)와 함께 도시하였다. 그림 4.6~4.10에서 가지야마공식에 의해 산정한 연유출량은 본 연구에서 개발한 연유출량모형보다 대체적으로 크게 나타난 것을 알 수 있다. 또한 저유출량 부분에서 가지야마공식은 실측치에 비교하여 크게 나타났다. 이는 가지야마공식에서 비가 오지 않는 달의 최소유출고인 기저유출은 10.2mm⁽⁶⁾로 항상 같다는 가정에서 발생한 것으로 보인다. 따라서 가지야마공식에서 가정한 10.2mm의 기저유출은 본 연구지역의 각 지점에서는 적용이 어렵고 이보다 적은 값을 사용해야 할 것이다. 이와같은 결과는 소하천의 경우에 최소유출고가 10.2mm보다 적은 값이 나오는 것이 타당하다는 연구와 같은 결과를 얻었다⁽⁶⁾. 따라서 이수 또는 갈수분석에서 가지야마공식에 의하여 산정된 유출량을 이용하는 분석은 가능한 피해야 할 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 우리나라의 주요 하천인 한강, 낙동강, 금강, 섬진강, 영산강 유역의 유출변동을 분석하여 유출특성과 수자원개발사업의 효과를 파악하고 각 유역에서 적용할 수 있는 연유출량추정모형을 개발하였다. 본 연구에서 얻은 결과는 다음과 같다.

- (1) 저수위시에 유량을 추정하기 위하여 지수형태의 수위-유량관계식을 적용하였다. 그러나 이 관계식은 실험 또는 실측연구를 통하여 검토되어야 할 것이다.
- (2) 우리나라의 5대하천의 유출율은 1월에서부터 점점 감소하여 6월에 최저유출율을 가지며 이 기간의 유출량은 지하수에 의한 유출이 지표수에 의한 유출보다 상대적으로 크게 영향을 준다. 또한 우기가 계속됨에 따라 7월부터 유출율은 증가하다 10월후부터 점점 감소하지만 우기에 내린 강수에 의한 함양으로 인한 지하수유출의 영향으로 같은 강수량을 갖는

Runoff Depth vs. Precipitation at Koan Station (1917-1963)

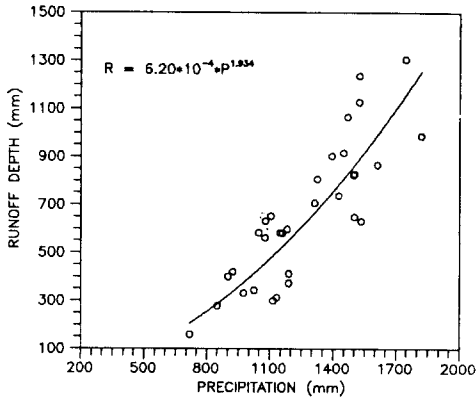


그림 4.1 고안지점의 연강수량과 유출고

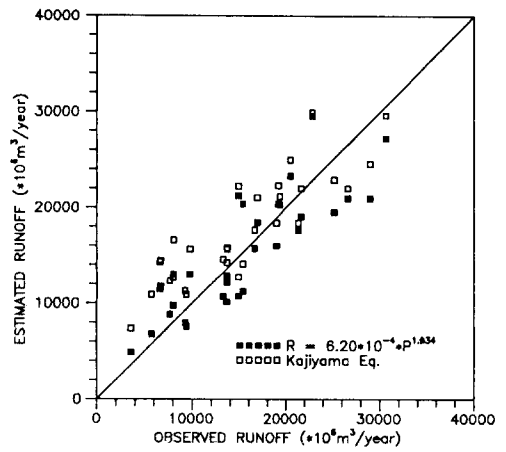


그림 4.6 고안지점의 연유출량추정모형의 비교

Runoff Depth vs. Precipitation at Jindong Station (1917-1980)

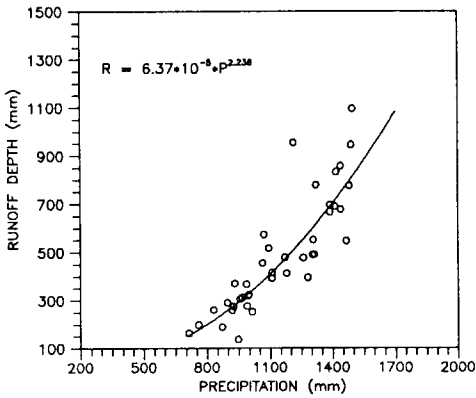


그림 4.2 진동지점의 연강수량과 유출고

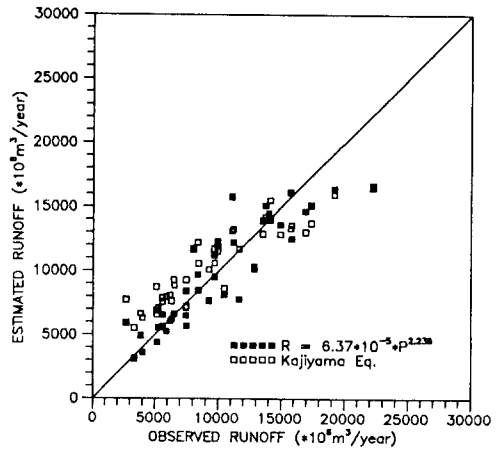


그림 4.7 진동지점의 연유출량추정모형의 비교

Runoff Depth vs. Precipitation at Gongju Station (1954-1979)

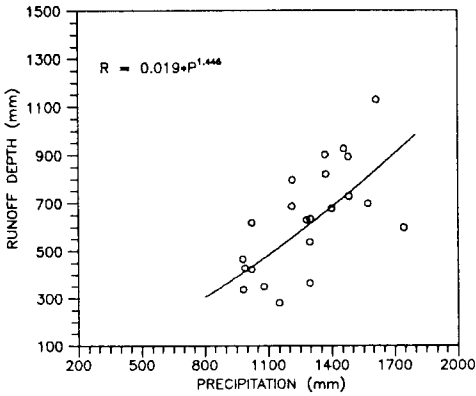


그림 4.3 공주지점의 연강수량과 유출고

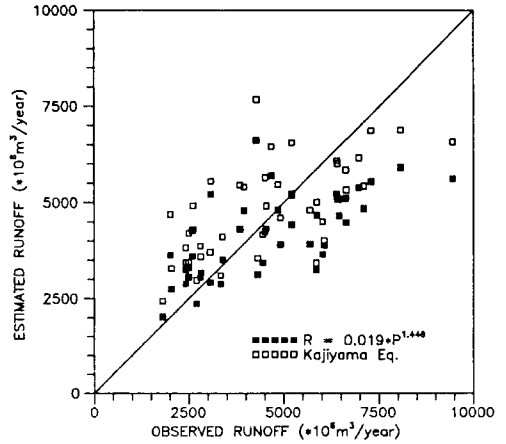


그림 4.8 공주지점의 연유출량추정모형의 비교

Runoff Depth vs. Precipitation at Songjung Station (1918-1965)

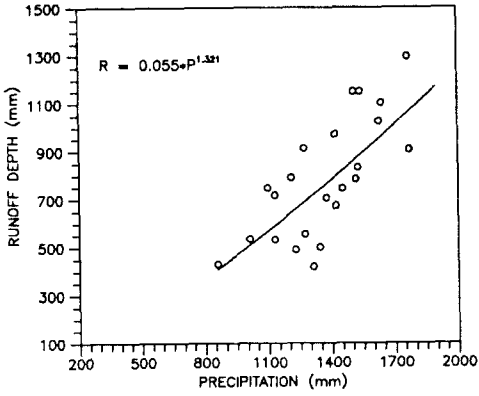


그림 4.4 송정지점의 연강수량과 유출고

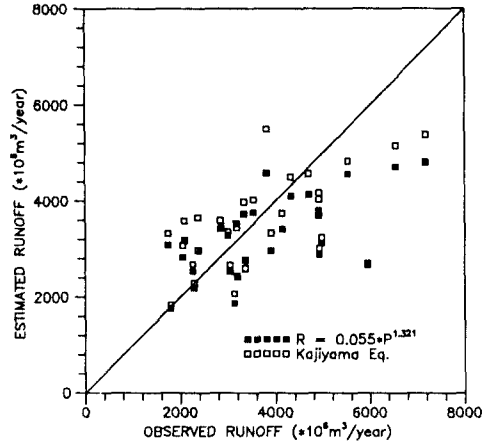


그림 4.9 송정지점의 연유출량추정모형의 비교

Runoff Depth vs. Precipitation at Naju Station (1916-1970)

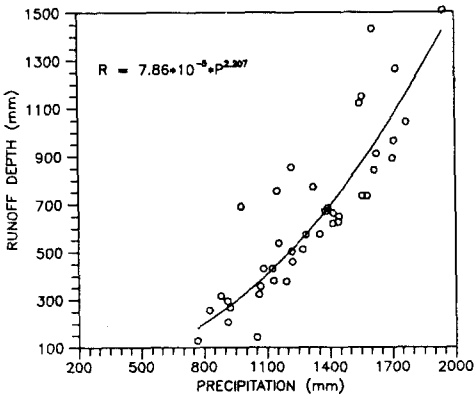


그림 4.5 나주지점의 연강수량과 유출고

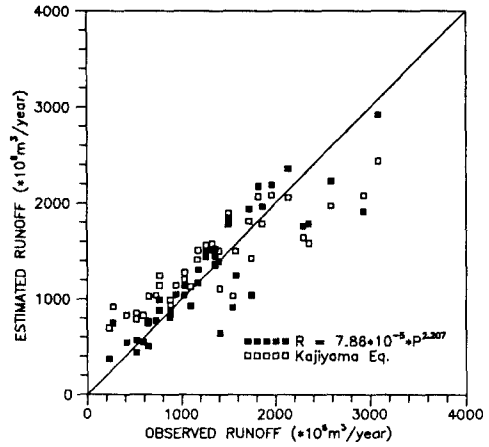


그림 4.10 나주지점의 연유출량추정모형의 비교

우기이전보다 상대적으로 큰 유출율을 보여준다. 이와같은 결과로 1월~6월간의 침투량과 증발산량이 상당히 유출에 영향을 주고 있으며 10월~12월의 유출은 우기의 강수량에 의한 함양량에 큰 영향이 있음을 알 수 있다.

- (3) 5대하천의 연유출율은 연강수량에 비례하지만 월유출율과 월강수량의 관계는 토양습윤 또는 기상조건에 따라 비례 또는 반비례관계를 갖는다.
- (4) 수자원개발 단계별 유출변동 분석의 결과에서 한강유역은 그동안의 댐건설 등에 의한 수자원개발사업으로 갈수시 유황이 개선되고 홍수기의 홍수조절효과가 뚜렷하게 나타났다. 그러나 낙동강, 금강, 섬진강, 영산강의 경우 갈수시의 유황개선 또는 홍수기의 홍수조절에 일부분 개선효과를 보여주고 있으나 그 효과는 상대적으로 적게 나타나 지속적인 수자원개발사업이 요구된다.
- (5) 5대하천에 각각 적용할 수 있는 연유출량추정모형을 개발하였으며 고안, 진동, 나주지점의 연유출량추정모형의 결정계수는 0.71~0.77로 비교적 양호하게 나타났고 공주와 송정지점은 0.40, 0.54로 상대적으로 낮게 나타나 두 지점의 자료의 신뢰도가 상대적으로 낮게 나타났다. 개발된 연유출량공식을 이용하여 추계학적인 분해모형 등을 이용하여 월유출량을 산정할 수 있을 것이다.
- (6) 검정된 매개변수를 적용하여 산정한 가지야마 월유출고 공식에 의한 연유출량은 실측치와 본 연구에서 개발한 연유출추정모형보다 상대적으로 크게 나타났다. 특히 저유량부에서 가지야마공식의 경우 상대적으로 과다하게 유출량이 산정되 갈수 또는 이수입장에서 가지야마공식의 적용은 가능한 피해야 할 것이다.

6. 참고문헌

1. 건설부, '수자원관리기법조사연구보고서,' 건설부, 1988-992.
2. 건설부, '한국수문조사서 수위편,' 1961.
3. 건설부, '한국수문조사서 우량·수위(1962-1978),' 건설부, 1979.
4. 이진원, 우효섭, '우리나라 주요하천의 유황분석,' 한국수문학회 학술발표개요집, 1992
5. 조선총독부, '조선하천조사서,' 1929.
6. 한국건설기술연구원, '장기수자원계획을 위한 유역물수지수정방법개발,' 한국건설기술연구원, 1989.
7. 한국수자원공사, '수자원장기종합계획('91~2011)보고서,' 한국수자원공사, 1990.
8. 한국수자원공사, '한강유역조사보고서,' 한국수자원공사, 1990.