

제주도 주요하천의 기저유출량 산정

문 덕 철 · 양 성 기 · 고 기 원 · 박 원 배*

제주도광역수자원관리본부 · 제주대학교 토목해양공학과 · 제주발전연구원
(2004년 11월 18일 접수; 2005년 4월 20일 채택)

Estimation of Baseflow Discharge through Several Streams in Jeju Island, Korea

Duk-Chul Moon, Sung-Kee Yang*, Gi-Won Koh and Won-Bae Park*

Jeju Provincial Water Resources Management Office, Jeju 695-811, Korea

*Department of Ocean Civil Engineering, Cheju National University, Jeju 690-756, Korea

**Jeju Development Insitute, Jeju 690-732, Korea

(Manuscript received 18 November, 2004; accepted 20 April, 2005)

Groundwater in Jeju Island, flowing through main stream, is spring water from underground. To set a fixed quantity of groundwater flowing from surface in a hydrological view, 4 downstream (Woedo stream, Gangjung stream, Yeonwoe stream and Ongpo stream) were selected to calculate the characteristic of baseflow and the baseflow discharge through the data on tachometry. There were 11 to 14 level peak caused by runoff, mostly occurred during monsoon season. Also, duration of runoff was 15 to 25 hours, well reflecting the characteristic of inclined, short stream length in Jeju Island and pervious hydrogeographical feature. In case of Gangjung stream, Yeonwoe stream and Ongpo stream, variation of stream water level by baseflow rose above during summer, which was closely linked to the distribution of seasonal precipitation. From autumn to spring, water level fell below while that of Woedo stream remained the same all year round. Data on the water level observed in Woedo stream and Gangjung stream in every single minutes was applied to weir formula(equation of Oki and Govinda Rao) to calculate baseflow discharge. Also, using the data on current and water level calculated in Ongpo stream and Yeonwoe stream, water level-water flow rating was applied to assess baseflow discharge.

Key Words : Groundwater, Baseflow discharge, Duration of runoff, Jeju Island

1. 서 론

제주도 내에는 911개에 이르는 많은 용천수가 분포하고 있으며, 이들 중 92%에 달하는 841개소가 해안 가까운 지역에 위치하고 있다¹⁾. 용천수는 대수층으로 함양된 지하수가 지질경계부나 침식 절개지 또는 급경사면 등 지층의 열린 틈을 통해 지상으로 배출되는 물이기 때문에 지하수의 함양, 배출, 순환 연구에 중요한 대상이 되고 있다. 특히, 해안 저지대에 위치한 용천수의 용출량은 지하수 배출성분 중 기저유출에 해당하는 성분이므로 이에 대한 수문학적 및 수문지질학적 연구는 유역 내 전체적인 지하

수 함양량 규모는 물론 지하수의 수리지구화학적 진화과정을 밝히는데 좋은 정보를 얻을 수 있다. 아울러, 용천수를 통해 배출되는 기저유출량에 대한 연구는 용천수의 이용 및 보전관리계획을 수립하는 데에도 중요한 기초자료의 역할을 한다. 제주도는 우리나라 최대의 다우지역임에도 불구하고 투수성이 좋은 다공질 화산암류 및 화산회토로 이루어져 있어 총 강우량의 48.5%에 이르는 빗물이 지하로 침투함으로써 대부분의 하천들이 건천을 이루고 있다. 또한 한라산 백록담을 중심으로 남·북사면에 발달해 있는 하천들은 경사가 급할 뿐만 아니라, Table 1에서 보는 바와 같이 20km 미만의 짧은 연장으로 인하여 강우에 의한 홍수유출 지속시간이 2~3일에 불과하고, 강우 후에는 건천의 상태를 이룬다²⁾.

그러나, 제주도 북부지역에 위치한 외도천을 비롯

Corresponding Author : Duk-Chul Moon, Jeju Provincial Water Resources Management Office, Jeju 695-811, Korea
Phone: +82-64-710-4128
E-mail: waterfeel@naver.com

하여 서부지역의 옹포천, 남부지역의 창고천·중문천·강정천·연외천·동홍천 등 일부 하천의 경우, 해안에 가까운 지점의 하상과 측벽에서 용천수가 유출됨으로써 하천수의 흐름이 유지되고 있다. 이들 하천을 통해 바다로 유출되는 용천수는 지하수의 기저유출 성분이기 때문에 가뭄에도 수량변화가 크지 않을 뿐만 아니라, 수질도 양호하여 1970년대부터 상수원으로 개발해 이용하고 있다. 유출량 규모 면에서 볼 때, 이들 하천을 통한 기저유출량은 전체 용천수의 유출량에서 차지하는 비율이 높을 뿐만 아니라, 개소 당 유출량도 많기 때문에 제주도 지하수의 기저유출 특성을 연구하는데 좋은 대상이라 할 수 있다.

제주도의 지하수에 관한 조사·연구는 1960년대 초반부터 여러 연구기관과 개인 연구자들에 의해 진행되기 시작하였으며, 이러한 연구들로부터 지하수에 관한 기초적인 사항들이 밝혀짐으로써 제주도의 지하수 특성을 이해하는데 큰 도움이 되고 있다. 그렇지만, 이전에 실시된 조사·연구의 대부분은 수문지질, 수질, 지하수위, 지하수 산출특성 등의 분야

에 집중된 반면, 용천수를 통한 기저유출에 관한 연구는 지극히 부족한 실정이다.

따라서, 이 연구는 제주도 남·북사면과 서부지역의 해안변 부근에서 연중 하천수의 흐름이 유지되고 있는 4개 하천(외도천, 옹포천, 강정천, 연외천)을 대상으로 강우량에 따른 하천수위의 변동특성을 파악하였다. 또한, 수위-유량 관계곡선을 유도하여 연간 기저유출량의 규모를 파악하는데 중점을 두었다. 이러한 기저유출량에 관한 자료는 제주도 지하수의 기저유출 특성을 파악함과 아울러 향후 지하수자원의 보전·관리, 용수개발, 하천생태계 보전, 재해방지대책 등에 중요한 기초정보로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 연구방법

연구대상 4개 하천의 기저유출량을 산정함과 아울러 변화양상을 파악하기 위하여 2002. 7~2003. 12월까지 18개월 동안 매월 1회 이상 현장조사를 실시하였다(Fig. 1). 우선, 유속측정의 일관성을 유지함과 아울러 유량산정을 위해 각 연구대상 하천에 대

Table 1. Form of the stream

Stream	Location	Watershed Area (km ²)	Stream Length (km)	Average width (A/L)	Form factor (A/L ²)
Woedo stream	Woedo-dong, Juje city	76.7	18.4	4.2	0.2
Ongpo stream	Ongpo-ri, hanrim-eup	24.5	10.5	2.3	0.2
Gangjung stram	Gangjung-dong, Seogwipo city	37.5	16.0	2.3	0.1
Yeonwoe stream	Seogwi-dong, Seogwipo city	8.1	9.0	0.9	0.1

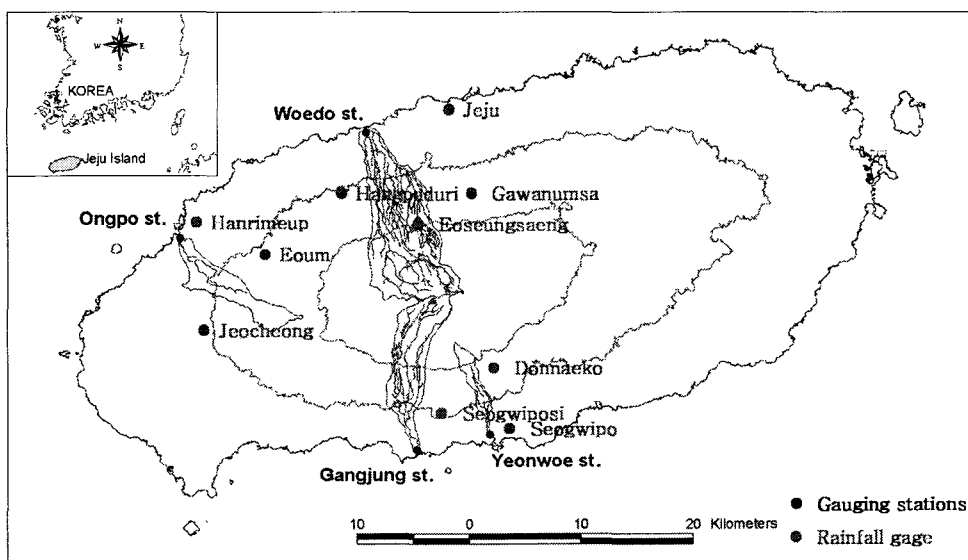


Fig. 1. The Location of rainfall gauging and watershed area of each streams.

제주도 주요하천의 기저유출량 산정

한 수준측량을 실시하였다. 수준측량시에는 유속측정 지점과 상·하류 각각에 대해 횡단면도 측량하였다. 유속측정은 Marsh-McBirney사의 FLO-MATE 모델 2000(측정범위:-0.15~6.00m/s, 정밀도:0.015m/s±2%)을 이용하여 매일 1회 이상 동일지점의 대표 유속을 측정·기록하였다. 또한 유속측정시에는 자동수위측정기에 의한 수위값과의 비교를 위해 외도천과 강정천에 설치된 가수위표의 수위도 병행해 측정하였다. 아울러, 연구대상 하천의 홍수유출 발생횟수와 지속기간 및 기저유출량과 강우량과의 관계분석 등을 위해 제주도광역수자원관리본부에서 설치·운영하고 있는 하천수위 자동관측 자료를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 하천수위의 변동특성

연구대상 4개 하천에서 자동수위측정기에 의해 관측된 일별 수위자료를 강우량자료와 함께 Fig. 2~5에 제시하였다. 수위자료는 홍수유출로 인한 수위 peak와 발생횟수를 파악하기 위해 일 최대 수위자

료를 이용하였다. 외도천 유역의 강우량은 Fig. 2a와 같이 6개월(2003. 7~12월)동안 1,279mm를 나타내었으며, 이중 82%가 하절기인 7~9월 사이에 집중되었다. 홍수유출로 인한 수위 peak는 총 5회 발생하였다. 특히 2003. 9. 12일에는 태풍 '매미'에 의한 집중강우(277mm)로 수위가 1.93m까지 상승하여 조사기간 중 최고치를 나타내었다. 한편, 홍수유출이 발생하지 않는 기간동안 기저유출에 의해 유지되는 하천수의 수위는 4~8cm 정도로 거의 일정한 것으로 조사되었다. 옹포천 유역에 1년(2003. 1~12월)동안 내린 강우량은 1,574mm이며, 이 중 72%에 해당하는 1,127mm가 5~9월에 집중되어 하절기 강우편중 현상을 보였다. 홍수유출로 인한 수위 peak는 15개월(2002. 10~2003. 12월)동안 14회 발생하였는데, 대부분의 홍수유출은 하절기에 집중되었다(Fig. 3a). 특히, 태풍 '매미'에 의한 집중강우(71mm)로 수위가 1.45m까지 상승하여 연구기간 동안 최고치를 나타내었다. 한편, 기저유출 성분에 의한 하천수위는 평균 13cm였고, 변동폭은 4~20cm로 나타났다. 계절적인 수위변동을 보면, 2002. 9~2003. 5월까지 점진적

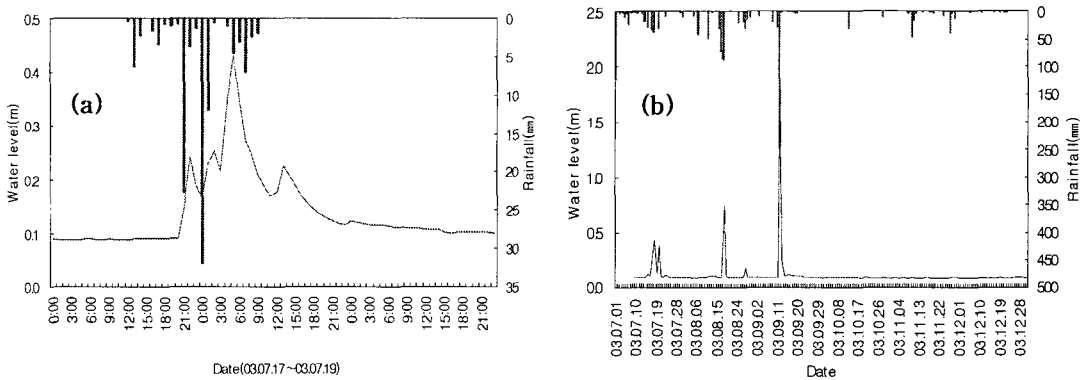


Fig. 2. Hydrograph of the Woedo stream.

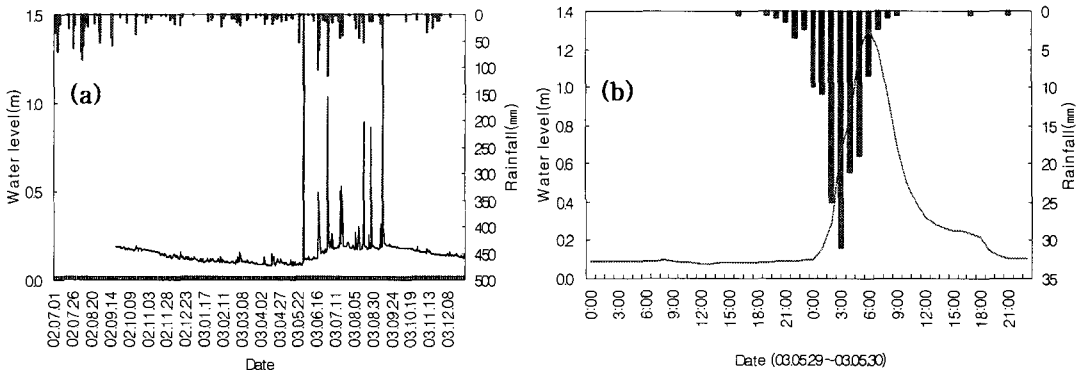


Fig. 3. Hydrograph of the Ongpo stream.

으로 낮아지는 경향을 보이다가 여름철 강우에 의하여 2003. 9월까지 상승하였으며, 이후에는 다시 하강하는 현상을 나타냈다.

강정천과 연의천 유역의 연간(2003년) 강우량은 2,554mm이며, 이 중 73%에 해당하는 1,866mm의 강우가 하절기에 집중되는 강우편중 현상을 나타내었고, 홍수유출로 인한 수위 peak는 18개월(2002. 7~2003. 12월)동안 강정천은 17회, 연의천은 19회 발생하였다(Fig. 4a와 5a). 특히, 태풍 '매미'의 영향으로 156mm의 집중강우를 보여 두 하천 모두 수위가 최고치를 보여, 강정천은 2.32m, 연의천은 2.06m까지 상승하였다. 한편, 기저유출 성분에 해당하는 수위는 강정천에서 평균 0.08m, 연의천에서 0.73m였고, 변동폭은 각각 0.00~0.15m, 0.64~0.81m로 나타났다. 또한 계절적인 수위변동은 옹포천과 같이 강우량의 차이에 의해 하강과 상승을 반복하는 것으로 나타났다. 상기와 같이 옹포천·강정천·연의천의 계절적인 수위변동은 외도천과는 다른 양상을 나타냈는데, 이들 하천은 외도천에 비해 유역면적이 작고, 지하수 체류기간도 비교적 짧아 지하수의 순환이 빠르게 이루어지고 있기 때문인 것으로 해석된다⁶⁾.

한편, 연구대상 하천의 강우에 의한 홍수유출특성을 파악하기 위하여 즉 유효강우량, peak도달시간, 유출지속시간 등 시간별 수위측정기록과 강우자료 및 수문곡선을 이용하여 홍수유출특성분석을 실시하였다(Table 2). 연구대상 하천별로 강우자료 및 수문곡선을 이용한 분석결과를 종합해보면, 강우에 의한 홍수유출 특성은 매우 다양한 것으로 사료된다. 즉, 유효강우량의 경우 최소 22mm에서 최대 143mm의 범위를 나타내고 있을 뿐만 아니라, 첨두수위(peak)까지 도달하는데 걸리는 시간 또한 2~20시간의 범위를 나타냈으며, 홍수유출 지속시간도 8~46시간으로 편차가 크게 발생하고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 연구대상 하천의 홍수유출특성이 다양하게 나타나고 있는 것은 첫째, 선행강우량의 차이 둘째, 유역내 강우량의 분포 셋째, 시우량(강우강도) 넷째, 유역내 토지피복상태 등의 기상·수문학적 조건이 다르기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 제주 지역 하천의 홍수유출특성에 대한 대표값을 구하기 위해서는 시간별 강우량과 하천수위측정이 장기간 지속적으로 이루어져야 할 것으로 생각된다.

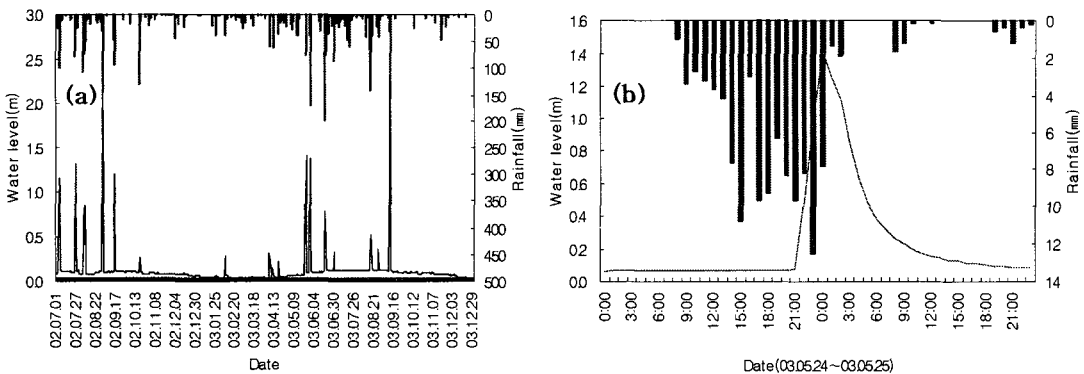


Fig. 4. Hydrograph of the Gangjung stream.

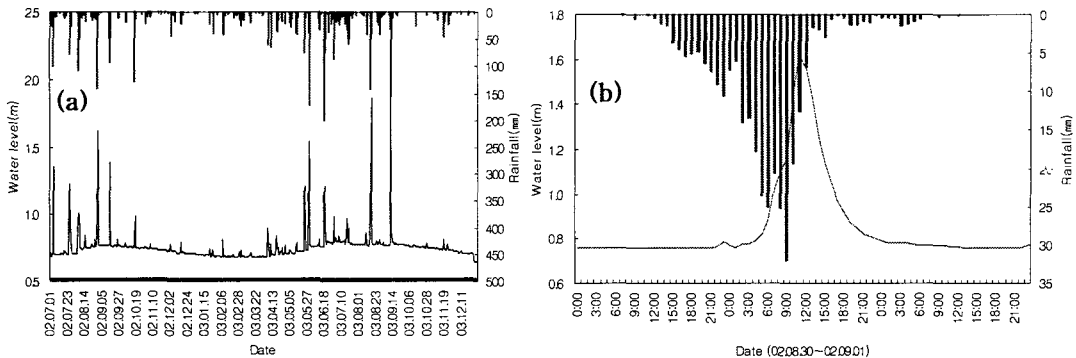


Fig. 5. Hydrograph of the Yeonwoe stream.

제주도 주요하천의 기저유출량 산정

Table 2. The analysis of runoff hydrograph

Stream	Date	Total rainfall (mm)	Effective rainfall (mm)	Concentration time of peak level (hr)	Duration of runoff (hr)	Peak of water level (m)	Change of water level (m)
Woedo St.	03.07.17~03.07.19	108	39	9	25	0.43	0.34
Ongpo St.	03.05.29~03.05.30	140	31	6	21	1.31	1.21
	03.06.18~03.06.19	73	22	8	16	0.50	0.29
	03.07.17~03.07.18	66	38	3	17	0.50	0.31
Gangjung St.	02.08.06~02.08.09	93	71	4	20	0.38	0.32
		89	48	5	9	0.71	0.59
	02.08.30~02.09.01	303	61	13	46	2.21	2.13
	02.10.18~02.10.19	100	97	2	10	0.27	0.17
	03.05.24~03.05.25	118	91	3	22	1.41	1.34
	03.06.18~03.06.20	244	132	20	40	0.78	0.54
	02.07.04~02.07.06	188	66	6	18	1.36	0.63
Yeonwoe St.	02.08.06~02.08.08	87	61	4	10	0.96	0.25
		97	22	8	14	1.01	0.28
	02.08.30~02.08.31	303	143	7	20	1.62	0.83
	02.09.15~02.09.16	148	90	3	15	1.39	0.61
	02.10.18~02.10.19	99	42	8	8	0.98	0.20
	03.05.24~03.05.25	118	91	3	13	1.20	0.45
	03.05.29~03.05.30	196	40	6	19	1.55	0.81
	03.06.18~03.06.19	178	23	11	19	1.14	0.36
		81	24	5	19	1.21	0.32

3.2. 하천수위에 의한 기저유출량 산정

외도천과 강정천의 기저유출량은 웨어에 설치된 자동수위관측소자료를 이용하여 Oki(1929)와 Govinda Rao(1963)의 식에 적용해 산정하였다(Table 3)⁴⁾. Table 4~5에서 보면, Oki의 식에 적용하여 산정된 외도천의 기저유출량은 하천수위가 7.0~10.9cm일 때 최소 20,783m³/d, 최대 33,638m³/d이었고, 6개월(2002. 7~12월)동안 총량은 5,014,068m³이었다. 강정천은 0.0~15cm일 때 최소 61,550m³/d, 최대 307,921m³/d이었고, 1년(2003. 1~12월)동안 총량은 3,864,056m³으로 계산되었다. 또한, Govinda Rao's 식에 적용하면 외도천의 기저유출량은 최소 19,613m³/d, 최대 30,078m³/d였고, 강정천은 최소 55,832m³/d, 최대 270,121m³/d이었다. 따라서 조사기간 중 총 기저유출량을 계산하면 외도천은 6개월간(2002. 7~12월) 4,587,280m³, 강정천은 1년간(2003. 1~12월) 56,150,628m³이었다. 두 식에 의해 산정된 유출량은 9.3~13.7%의 차이를 나타내었는데, 이러한 차이는 유출계수 C값(Oki의 식 1.8~2.0, Govinda Rao식 1.4~1.6)의 차이에 의해 비롯된 것으로 사료된다.

3.3. 수위-유량 관계곡선에 의한 유출량 산정

용포천과 연외천의 기저유출량은 웨어가 설치된 지점에서 하천의 연직선상으로 단면측량을 실시하고, 유속계를 이용하여 18개월(2002. 7~2003. 12)동안 40회 이상 유속을 측정하여 산정하였다. 특히 용포천인 경우 하천주변에 위치한 한림정수장에서의 취수량을 파악하여 산정된 유출량에 반영하였다. 용포천의 기저유출량을 보면, 1일 39,674~116,607m³이고, 평균 유출량은 62,989m³/d으로 조사되었다. 기저유출량에 반영된 한림정수장에서의 취수량은 23,702~28,548m³/d이었다. 연외천인 경우, 1일 기저유출량은 45,859~185,462m³/d이고, 평균 유출량은 98,620m³/d으로 조사되었다. 현장조사를 통해 산정된 기저유출량의 변동 특성은 살펴보면, 2002. 9~2003. 5까지 점진적으로 감소하고, 이후에는 계절적인 강우량의 영향으로 상승하는 경향을 보이는 것으로 나타났다.

Fig. 6은 각각 용포천과 연외천의 현장측정을 통하여 산정된 기저유출량과 시간별 하천수위 관측자료를 이용하여 수위-유량 관계곡선을 나타낸 것이

Table 3. Oki and Govinda Rao's equation

	Oki(1929)	Govinda Rao(1963)
Q	$KBh^{3/2}$	$C_{1-4}Bh^{3/2}$
C	$1.839\left[1 + \frac{0.0012}{h}\right]\left[1 - \frac{\sqrt{h/B}}{10}\left(1 - \frac{h/B}{10h_d}\right)\right] \times \left[1 + \frac{1}{2}\left(\frac{Bh}{W(h+h_d)}\right)^2\right]$	$0 < h/L \leq 0.1 ; C_1 = 1.642(h/L)^{0.022}$ $0.1 \leq h/L \leq 0.4 ; C_2 = 1.552 + 0.083(h/L)$ $0.4 \leq h/L \leq (1.5 \sim 1.9) ; C_3 = 1.444 + 0.352(h/L)$ $(1.5 \sim 1.9) \leq h/L ; C_4 = 1.785 + 0.237(h/W)$
Range	$h \geq 0.02m, B > 0.15m, h/B \leq 1, h_d \geq 0.3m \quad W - B > 3h$	$0 < h/L \leq 2, 0 < h/h_d < 1$

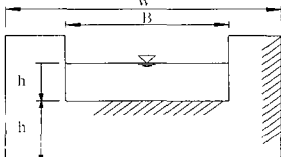
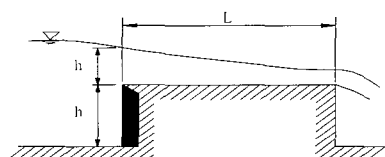



Table 4. Estimation of baseflow discharge in the Woedo stream

Month	Water level(m)	Oki's eq.(m ³)		Govinda Rao's eq.(m ³)	
		Daily	Monthly	Daily	Monthly
2003.07	0.084	32,164	997,076	28,830	893,724
2003.08	0.088	30,042	931,307	27,148	841,599
2003.09	0.086	33,638	1,009,14	30,078	902,336
2003.10	0.080	24,436	757,519	22,595	700,436
2003.11	0.076	20,783	623,488	19,613	588,378
2003.12	0.079	22,437	695,537	21,316	660,807
Maximum	0.109	33,638	1,009,140	30,078	902,336
Average	0.084	27,250	835,678	24,930	764,547
Minimum	0.070	20,783	623,488	19,613	588,378
Baseflow discharge (2003. 7~12)		5,014,068		4,587,280	

Table 5. Estimation of baseflow discharge in the Gangjung stream

Month	Water level(m)	Oki's eq.(m ³)		Govinda Rao's eq.(m ³)	
		Daily	Monthly	Daily	Monthly
2002.07	0.096	230,883	7,157,379	202,725	6,284,462
2002.08	0.077	182,557	5,659,258	160,532	4,976,490
2002.09	0.102	245,481	7,364,427	215,478	6,464,341
2002.10	0.092	214,958	6,663,712	188,637	5,847,748
2002.11	0.077	179,754	5,392,622	157,828	4,734,852
2002.12	0.066	154,053	4,775,645	135,305	4,194,466
2003.01	0.044	106,488	3,301,128	94,039	2,915,214
2003.02	0.024	63,169	1,768,745	57,676	1,614,925
2003.03	0.02	61,550	1,908,058	55,832	1,730,789
2003.04	0.039	94,022	2,820,647	82,882	2,486,446
2003.05	0.069	156,434	4,849,440	136,894	4,243,702
2003.06	0.106	252,708	7,581,249	221,255	6,637,644
2003.07	0.121	290,854	9,016,460	255,037	7,906,138
2003.08	0.126	307,921	9,545,545	270,121	8,373,761
2003.09	0.107	257,379	7,721,356	225,619	6,768,583
2003.10	0.089	207,732	6,439,684	182,076	5,644,353
2003.11	0.078	180,218	5,406,525	158,034	4,741,009
2003.12	0.048	113,072	3,505,219	99,615	3,088,064
Maximum	0.150	307,921	9,545,545	270,121	8,373,761
Average	0.076	174,295	5,322,005	153,257	4,679,219
Minimum	0.000	61,550	1,768,745	55,832	1,614,925
Baseflow discharge (2003. 1~12)		63,864,056		56,150,628	

제주도 주요하천의 기저유출량 산정

고, 관계식을 유도한 결과, 옹포천에서는 하천수위가 0.071~0.188m에서 수위와 유량간의 상관계수가 A식인 경우 0.9000이고, B식인 경우 0.8815로 나타났다. 연외천에서도 하천수위가 0.680~0.790m에서 상관계수가 D식인 경우 0.9245이고, E식인 경우 0.9235으로 나타나 두변수간의 상관성이 매우 높았다(Table 6).

따라서 상관성이 높은 수위-유량 관계식을 통해 연속적인 수위자료를 적용하여 1년간 옹포천과 연외천을 통한 기저유출량을 계산하였다. 옹포천의 A

식인 경우 2003년 7월에 2,638천m³으로 최대치를 보였고, 2003년 4월에 1,246천m³으로 최소치를 나타냈으며, 월 평균유출량은 1,924천m³인 것으로 분석되었다. 연외천의 D식인 경우 2003년 7월에 최대 5,450천m³, 2003년 02월에 최소 1,504천m³을 나타냈으며, 월 평균유출량은 3,197천m³으로 분석되었다(Fig. 7).

4. 결 론

제주도의 주요하천을 통해 용천수의 형태로 유출

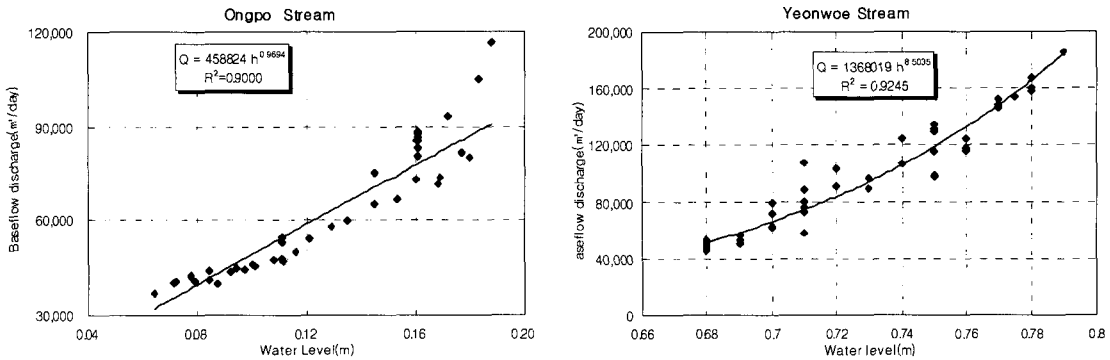


Fig. 6. Stage-discharge rating curve of the Ongpo and Yeonwoe stream.

Table 6. Relations expression through stage-discharge rating curve of stream

Gauging stream	Period	Range of stream water level	Relations expression	R ²
Ongpo stream	2002. 9. 15 ~2003. 12. 26	0.071m	A: $Q = 458824h^{0.9694}$	0.9000
		$< h <$	B: $Q = 517877h - 3237.7$	0.8815
		0.188m	C: $Q = 3779136h^2 - 435875h + 51652$	0.9184
Yeonwoe stream	2002. 7. 14 ~2003. 10.25	0.680m	D: $Q = 1368019h^{8.5035}$	0.9245
		$< h <$	E: $Q = 1093186h - 696797.3$	0.9235
		0.790m	F: $Q = 3022733h^2 - 3314908h + 906728$	0.9292

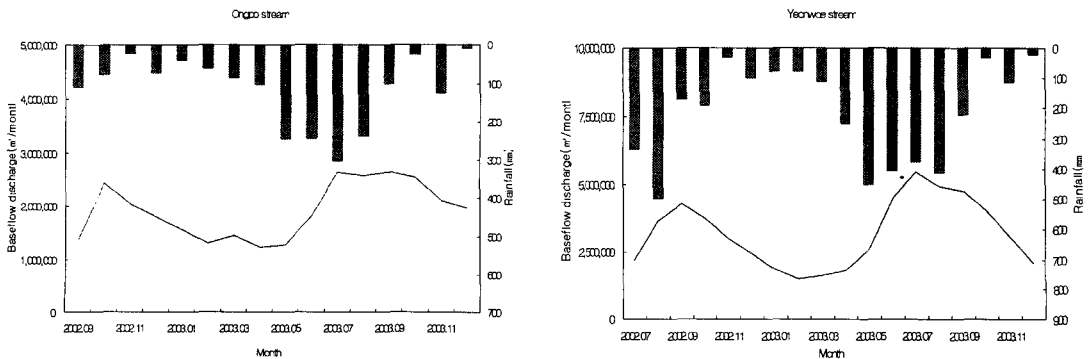


Fig. 7. Estimation of baseflow discharge in the Ongpo and Yeonwoe stream.

되고 있는 지하수의 기저유출 현상을 수문학적 관점에서 정량화하기 위해 남·북사면과 서부지역에 위치한 4개 하천(외도천, 강정천, 연의천, 옹포천)을 대상으로 연구를 실시한 결과는 다음과 같다.

- 1) 연구대상 하천에서 측정된 시간별 수위자료를 분석한 결과, 홍수유출은 강우가 집중되는 5~9월 사이의 하절기에 주로 발생하였으며, 2003년 1년간 발생한 홍수유출 횟수는 11회~14회 범위로 분석되었다. 또한, 홍수유출 지속시간은 평균적으로 8~46시간을 나타내어 제주도의 하천특성과 수문지질 특성을 잘 반영하였다.
- 2) 지하수의 기저유출에 의해 유지되는 하천수위 변화를 분석한 결과, 강정천·연의천·옹포천은 계절적인 변동을 나타내 강우량이 많은 하절기에 상승하고, 강우량이 적은 가을~봄철 사이 기간에는 하강하는 현상을 뚜렷하게 나타내었다. 그렇지만, 외도천의 경우는 하천수위가 연중 거의 일정하게 유지되는 현상을 보였다. 상기와 같은 수위변동의 차이는 연구대상 하천유역의 지표 및 지하지질 상태, 대수층의 수리성, 지하수 체류기간(지하수 순환속도), 유역 내 강우량 등 수문지질학적 인자들이 동일하지 않음을 암시해 주고 있다.
- 3) 외도천과 강정천에서 관측된 수위자료를 2가지 웨어공식(Oki와 Govinda Rao의 식)에 적용하여 기저유출량을 산정한 결과, 외도천은 6개월(2003. 7~12월)동안 $5 \times 10^6 m^3$, 강정천은 연간(2003년) $60 \times 10^6 m^3$ 으로 나타났다. 또한 상기 2개 하천에 대해 유속측정법으로 기저유출량을 산정한 결과, 웨어공식에 의한 값보다 3~10%정도 많게 나타났다.
- 4) 옹포천과 연의천을 대상으로 18개월(2002. 7~2003. 12월)동안 실시한 유속측정자료를 근거로 기저유출량을 산정한 결과, 옹포천의 경우 최소 $39,647 m^3/d$, 최대 $116,607 m^3/d$ 을 나타냈고, 연의천은 $45,859 m^3/d$, 최대 $185,462 m^3/d$ 을 나타냈다.
- 5) 옹포천과 연의천에서 실시된 유속측정 자료와 관측된 수위자료를 이용하여 기저유출량 산정

을 위해 수위-유량 관계식을 유도한 결과, 옹포천은 $Q=458824h^{0.9694}(R^2=0.9000)$ 의 식을 얻었으며, 연의천은 $Q=1368019h^{8.5035}(R^2=0.9245)$ 의 식을 얻었다. 상기와 같은 관계식을 적용하여 옹포천과 연의천을 통해 유출되는 연간 기저유출량을 산정한 결과 각각 $23 \times 10^6 m^3$ 과 $38 \times 10^6 m^3$ 으로 나타났다.

참 고 문 헌

- 1) 제주도, 1999, 제주의 물·용천수, 34-49pp.
- 2) 한 찬, 한정상, 1999, 3차원 지하수모델과 응용, 박영사, 799-867pp.
- 3) 민병형, 옥치을, 손인식, 김가현, 민일규, 서진호, 1999, 하천공학, 형설출판사, 104-105pp.
- 4) 김원만, 1996, 수리공식집, 건우사, 254-275pp.
- 5) 최영박, 2002, 현대수리학, 구미서관, 128-162pp.
- 6) 이대하, 고동찬, 박원배, 2002, $^3H/^4He$ 및 CFC-12를 이용한 제주도 지하수 연령측정 및 활용, 제 10회 세계 물의날 기념 학술세미나 제주의 물·세계의 물 도민의 자산, 37-72pp.
- 7) 제주도, 2002, 제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사(II), 182-242pp.
- 8) 제주도, 2003, 제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사(III), 11-83pp.
- 9) 정진영, 2002, 유량 측정자료의 불확실도 분석에 관한 연구(섬진강 유역을 중심으로), 수원대학교 대학원 석사학위논문, 7-25pp.
- 10) Gardner, C. B., 1995, Streamflow, ground-water recharge and discharge, and characteristics of surficial deposits in buzzards bay basin, southeastern Massachusetts, USGS, 18pp.
- 11) Thomas, C. W., W. H. Judson, O. L. Franke and M. A. William, 1998, Ground water and surface water a single resource, USGS, 1-25pp.
- 12) Stephen, B. G., 1999, Ground-water Occurrence and contribution to streamflow, Northeast Maui, Hawaii, USGS, 29pp.