

한반도 222년의 홍수 기후

변 회 롱

1. 서론

홍수의 강도는 홍수의 원인과정의 물리량으로 정의되어야 한다. 본 연구는 홍수를 유발한 강수량의 집중정도로 홍수 강도를 표현하고자 한 시도이다. 일 강수량의 단순 누적만으로는 홍수의 강도를 계산할 수가 없기 때문이다. 일 강수량의 누적치 중에서 유출되고 난 나머지를 가용수자원이라 이름하고 이를 이용하여 홍수강도를 진단하였다. 가용 수자원의 계산은 Byun and Wilhite(1999)가 가뭄진단을 위해 개발하였다. 이는 intensive measure인 일 강수량을 extensive measure인 가용 수자원 값으로 환산하고 이를 표준화하는 방법이다. 지금까지 이와 유사한 목적으로 강수-유출 모형이 사용되어 왔다. 그러나 이 모형은 주로 대형하천에 적용되는 기법이며 매개변수 추정이라는 복잡하고 어려운 과정을 필요로 하기 때문에 한 국가 규모 이상의 광역의 수자원 관리를 위해서는 불편하였다. 본 연구에서 사용된 계산결과 전자통신을 통해 공개되고 있으며 각 분야에서 홍수를 연구하는데 사용되기 바란다.

2. 자료 및 계산

기상청 산하 64개 관측소의 가용 일 강수량 자료 전부를 사용하였다. 서울은 1777년 이후, 부산은 1907년 이후이며, 70년대 이후 관측을 시작한 지역도 많다. 서울의 일 강수량은 임규호(1993)와 전종갑(1993)이 조선왕조실록, 일성록, 승정원 일기 등에서 복원한 자료이다. 계산 방법은 Byun and Wilhite(1999)를 참고하여 주기 바란다.

강수량이 365일 합수 누적된 유효강수량을 날짜별로 계산하고 이것을 다시 하루강수량으로 환산한 것이 가용 수자원량(AWR)이다. 이 가용 수자원량의 년 중 최대치(Year Max. of AWR)와 이때의 표준편차로 표준화 한 것이 홍수지수이다. 즉

$F_i = (A_i - X_i) / S_x$ 여기서, F_i = Flood Index, A_i = AWR of each days, X_i = Maximum of average AWR per date through the year, S_x = Standard deviation of AWR at X_i day. 반면에 가뭄지수는,

$D_i = (A_i - M_i) / S_i$ 여기서, D_i = Drought Index, A_i = AWR of each days, M_i = normal value of AWR per date averaged through several decades, S_i = Standard deviation of AWR at M_i day.

따라서 홍수 지수는 단순히 한 지역의 날짜별 평균치 중 최대치에 대한 비교를, 가뭄 지수는 지역 특성 뿐 아니라 계절적 특성도 감안되어 계산된 것이다. 홍수는 강수 집중시기에 주로 나타나지만 가뭄은 년 중 언제든지 발생할 수 있기 때문이다. 홍수 지수를 구하기 위해 사용한 AWR 을 구할 때도 가뭄기와 우기를 구분하였다. 가뭄 기에는 강수 누적기간을 365일로만 계산하였다. (가뭄 지수를 계산할 때는 누적기간을 모두 계산하였다.) 그러나 AWR이 평균이상인 상태가 오래 간 날은 누적된 수자원이 어딘가에 비축되어 있을 가능성이 크므로 연속된 누적기간을 6년까지 계산했다. 이와 같은 계산 과정을 DAMDAF(Daily Assessment Model for Drought and Flood)로 묶었다. 한반도 64개 관측소에 관한 계산 결과는 <http://atmos.pknu.ac.kr/~mdr>에서 공개하고 있다. 각 변수의 정의나 계산방법은 home page 의 안내를 참고하기 바란다. 추후에도 가뭄이나 홍수의 위험이 예상되는 경우, 주별로 계산해서 공개될 것이다.

3. 결과.

그림 1은 서울 관측소에서 계산한, 1778년 이후 10년 단위로 홍수지수 최대치의 변화를 보인다. 최근 1990년대에 홍수지수와 가용수자원이 역사상 최대임을 보여준다(그림. 1a). 1820년대와 1870년대에 유사한 홍수시기가 있었다. 그림 1b는 자료의 신빙도가 비교적으로 큰 1910년 이후의 서울의 홍수지수의 경년 변동을 보인 것이다. 1998년 홍수시 보다 1990년 홍수지수가 더 큰 값을 보인다. 가뭄 지수는 1940년대 최대값을 보였다. 이는 최대치가 일찍 발생하였음을 뜻한다. 1990년과 1998년에 큰 값이 보이긴 하지만 홍수증가 등의 경향은 확인이 안된다. 그림2a 는 하루 최대강수량 2일 최대강수량, 그리고 년 강수량의 최대치들의 10년별 변화를 보인 것이다. 세가지 모두 1990년대 최대치가 아니다. 그림 2b 에서도 세가지가 모두 최대치가 아님이 확인된다. 그림 3a는 가뭄지수(X -100)와 년 강수량의 최소치의 10년 변화를 보인 것이다. 1890suseco 이후 가뭄강도가 현저하게 줄었음을 확인할 수 있고, 1910년 이후 최소 년 강수량은 다소 증가했음을 확인할 수 있다. 가뭄은 매계절에 발생하므로 계절마다 달리 나타난다. 따라서 하계가뭄만 따로 추출하여 그려본 것이 그림 3π이다. 1890년대 이후 현저한 감소를 볼 수 있다.

표 1은 홍수지수가 높았던 22개 연도의 서울 관측소의 각종 변수들이다. 이 표에서 1990년에 역사상 최대의 홍수지수($f_i=5.52$)를 읽을 수 있다. 가용 수자원량(AWR=1137)도 최대이다. 평균 이상의 수자원이 312일($i_{an} =312$)동안이나 지속되었었다. 312일 동안 1249mm나 평균치 보다 더 많은 비가 왔고, (312+365)일 동안은 평균치보다 1120mm더 왔다. 그 동안 유출된 양을 감안하면 당일에 잔존한 수자원 량은 평균치보다 558 mm 많았다. 가뭄 지수 역시 4.07로 홍수위험의 극심함을 보여준다. 홍수지수와와의 차이는, 가뭄 지수는 677일 동안 함수 누적된 수자원량을 같은 기간의 평균치와 표준편차로서 표준화 한 것이지만, 홍수지수는 365일 함수 누적된 평균치와 표준편차만 사용했다는 점이다. 두 번째로 높은 강도의 홍수위험은 1998년에 나타난다. 누적기간이 8일 밖에 되지 않으면서도 높은 강도를 보인다. 그 다음 강한 홍수는 1821년과 1879년에 있었다. 가뭄 지수의 최고치는 1832년에 나타난다. 홍수지수와 달리 계절적 효과도 포함되었기 때문에 홍수지수 보다 큰 값이다. 유사 이래 큰 홍수였다고 소문으로 내려오

Table 1. Year with the bigger flood index.

year	date	ian	apn	vpn	dps	apl	vpl	dpl	prn	pry	di	pcn	awr	fi
1787	915	79	1616	748	868	2454	2149	305	271	261	2.12	0	663	2.08
1816	818	39	1099	407	692	2213	1782	431	336	323	2.70	2	686	2.25
1821	8 5	36	1530	392	1138	2522	1772	750	626	619	6.12	37	953	4.18
1832	8 1	13	1155	131	1023	1986	1485	502	594	586	5.86	5	898	3.78
1833	818	4	590	37	553	1953	1401	552	488	481	3.98	0	822	3.23
1839	820	150	1647	857	790	2373	2263	111	235	225	1.75	12	652	2.00
1847	911	6	658	40	618	1603	1405	198	373	365	3.08	0	734	2.60
1851	9 6	2	392	22	369	1444	1387	57	357	354	3.02	36	726	2.54
1865	831	2	361	14	347	1590	1382	208	316	306	2.74	0	662	2.07
1874	818	71	1242	624	619	2410	2014	396	290	276	2.30	0	658	2.05
1875	828	10	586	85	501	1859	1457	402	329	323	2.65	0	679	2.20
1879	812	55	1693	540	1153	2881	1927	954	583	569	4.41	18	934	4.05
1920	8 3	28	922	305	617	1865	1681	184	495	489	5.06	24	810	3.15
1925	719	9	725	116	609	1705	1472	233	409	403	3.95	18	683	2.23
1926	8 6	20	914	207	706	2232	1557	675	416	405	4.01	4	733	2.59
1940	724	20	1203	221	982	1900	1589	311	526	517	5.39	16	813	3.17
1966	9 8	55	1376	536	840	2689	1914	775	315	298	2.71	1	701	2.36
1972	820	2	452	20	432	1514	1388	126	349	344	2.72	0	688	2.26
1990	912	312	2435	1186	1249	3736	2616	1120	616	558	4.07	0	1137	5.52
1995	827	8	613	66	547	1937	1432	505	380	371	3.12	13	724	2.52
1998	8 9	8	869	78	791	2116	1431	685	661	658	4.77	1	985	4.42

는 1925년의 홍수는 2.23에 불과하여 별로 크지 않음을 알 수 있다. 물론 서울지역에만 국한하지 않고, 한강 유역 전체를 모두 평균하면, 다른 값이 나올 수도 있다. 작게는 겨우 2일 동안의 강수 누적으로 연중 최고치가 된 해(1972년)도 있었다. 발생시기가 7월 19일이 가장 빠르며, 9월 15일이 가장 늦다.

그림 5는 1990년 9월 12일과 1998년 8월 9일의 홍수지수의 공간분포를 보인 것이다. 1990년에 한강 하류에 집중된 강수가 있었음을 보여 준다. 반면에 남부지방에서는 지리산 주변 일부를 제외하고는 음의 지수를 보이고 있다. 98년 8월 9일에는 거의 전국에서 양의 지수가 나타나고, 한강하류와 충주댐 부근에 극 값이 나타난다. 이 그림은 실시간 자료로 운영한 다면 8월 9일 새벽에 볼 수 있다. 그러면 그날 홍수위험지역이 어딘지 이 그림으로 바로 이해할 수가 있다. 이 그림이 없다면 단순히 어느 곳에 비가 얼마나 왔는가 하는 계산 밖에 할 수가 없다.

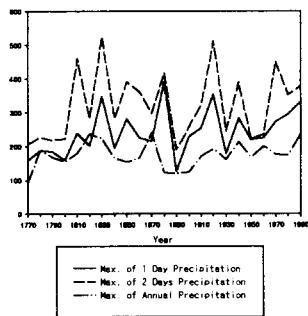
그림 6은 1999년 4월 20일의 수자원 현황을 나타내는 각 변수들을 그림으로 나타낸 것이다. 홍수지수(a)는 거의 전국에서 음의 값으로 나타나 홍수 위험이 전혀 없음을 알

수 있다. 가뭄지수(b)는 음의 값이 전혀 없어 가뭄의 위험도 전혀 없음을 알 수 있다. 가뭄 지수가 -1.0이 되려면 아직도 많은 기간 비가 오지 않아야 한다. 홍수지수가 3.0 이상의 값을 가지려면 아직도 많은 량의 비가와야 한다. 연속 누적기간(c)에서는 가용 수자원이 평균 이하인 날이 거의 없고 200일 이상인 곳도 나타난다. 정상이 되기 위해 필요한 하루 강수량(d)이 평균보다 80mm 이상 더 많은 곳도 있음을 보여준다. 가용 수 자원 량(e)의 분포와 정상회복을 위한 량의 분포가 다른 점은 평균값의 지역차이가 있음을 의미한다. 누적기간 동안 누적된 강수량이 해당기간의 평균치보다 큰 정도(f), 누적기간 +365일 동안의 누적강수량 분포(g) 등을 보여주고 있다. 이 상황에서는 홍수나 가뭄이나 염려되는 것이 없지만, 금년의 징조는 가뭄보다 홍수를 대비해야 하는 추세이다.

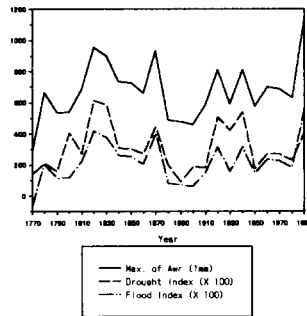
4. 요약 및 결론

홍수지수와 가뭄지수를 이용하여 서울 220년 홍수 기후변화와 기타 한반도 내 64개 지역의 홍수 기후 변화를 살펴보았다. 그 결과 1) 홍수지수가 홍수 정도를 정확하게 반영하는지 못하는지는 증명할 길이 없으나 대처할 만한 특별한 방법이 없는 현 시점에서 유용한 것만 은 사실로 인정된다. 2) 서울 지역에서 역사상 최악의 홍수는 1990년 에 발생하였었다. 3) 최근 해 1990년과 1998년에 강한 홍수 지수가 발생한 것은 사실이나 하루 최대강수량, 2일 최대 강수량, 년 강수량 등에서 모두 이전에 더 큰 값이 있었다. 따라서 아직 근년에 홍수 증가 추세가 있다고 단언할 수는 없다. 4) 년강수량의 최소치는 최근 현저하게 줄었고, 가뭄지수도 현저하게 떨어졌다.

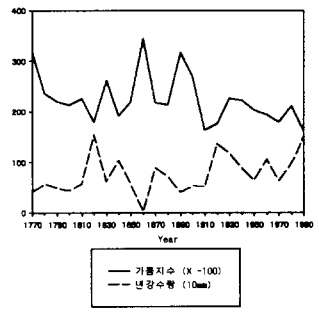
서울 220년 홍수기후 (1770-1990, 10년단위)



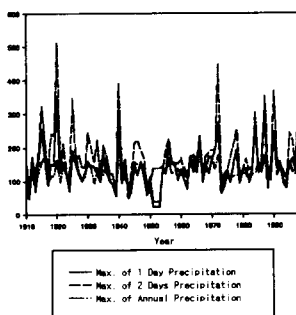
서울 220년 홍수기후 (1770-1990, 10년단위)



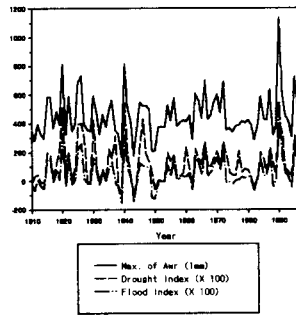
서울 220년 가뭄기후 (1770-1990, 10년단위)



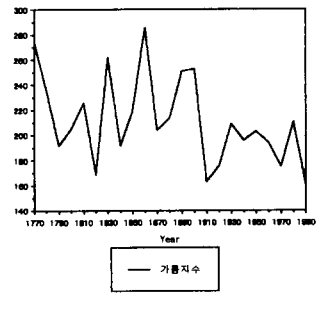
서울 89년 홍수기후 (1910-1998, 년별)



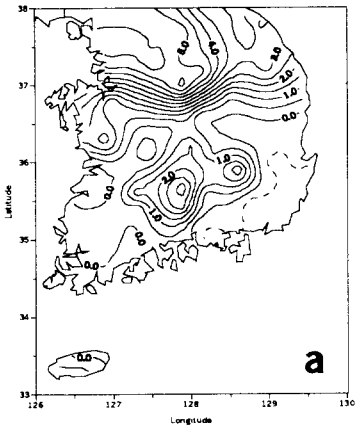
서울 89년 홍수기후 (1910-1998, 년별)



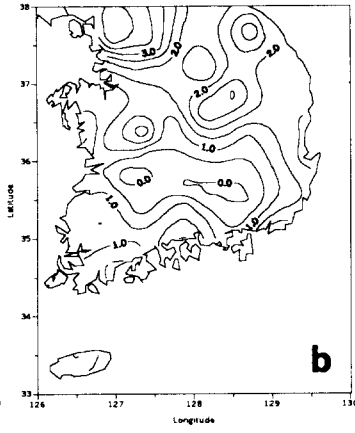
서울 220년 하계(6,7,8월) 가뭄지수변동



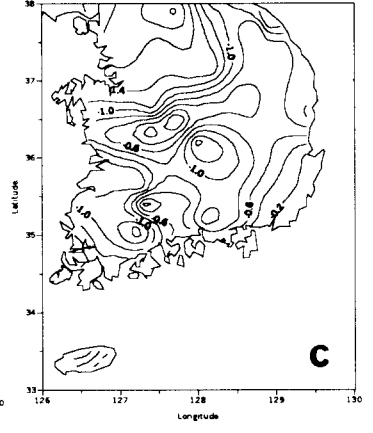
홍수 지수 (900912)



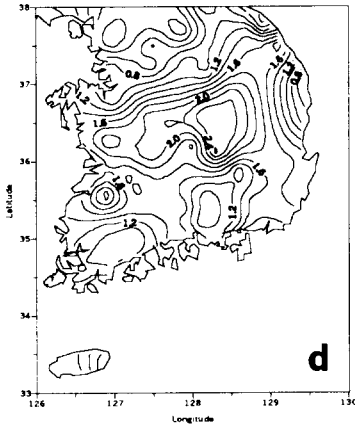
홍수 지수 (980809)



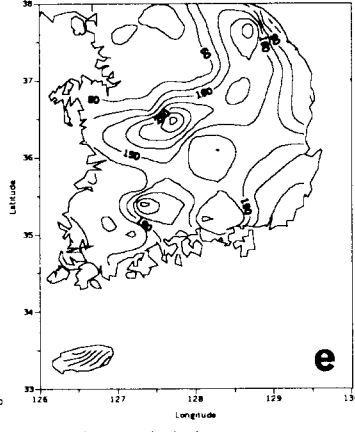
홍수 지수 (990420)



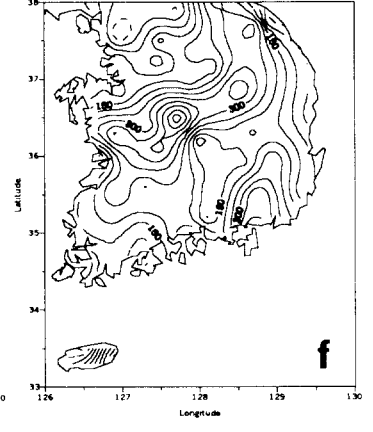
가뭄 지수 (990420)



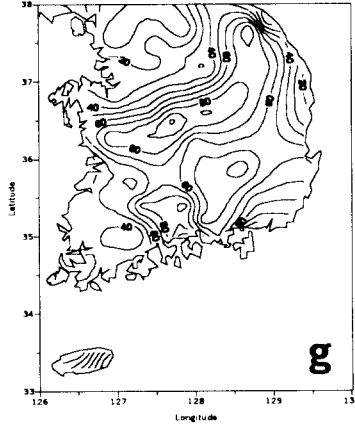
단기간강수량차이 (990420 : mm)



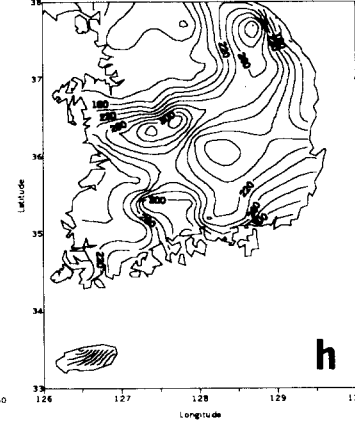
장기간강수량차이 (990420 : mm)



정상회복을 위한 양 (990420 : mm)



가용수자원량 (990420 : mm)



연속누적기간 (990420 : day)

