

# 몬순아시아지역 수문·수자원의 특성을 고려한 공동연구 제안



고 익 환 | 부장, 한국수자원공사 수자원연구부 / ihko@kowaco.or.kr

## 1. 서언

“수문학적 과정에 대한 기본 개념 정립은 유럽에서 출발하였으며 이를 수정, 보완하여 발전시킨 것은 북아메리카다. 따라서 이들 대륙의 수문학적 순환과정을 설명하는 기법들이 대상지역 고유의 지리적·기후적 조건에 적합하도록 개발된 것은 당연한 것이다. 온난지역에 속하는 유럽과 북아메리카 지역은 습윤 또는 아습성 기후와 완만한 구릉성 지형 특성을 갖고 있고, 대륙지역의 전통적인 수문학은 강우에 대한 유역 반응의 결정과정을 토대로 한다. ... 대규모의 국제적 수자원 프로그램에서는 매우 다양한 지역여건에 대해 적용을 하여야 하지만 이와 같은 전통적 대륙식 수문학적 과정만을 적용하다 보면, 서로 다른 특성을 갖는 지역에 이러한 방법론을 적용하게 되는 한계에 봉착하게 되는 것이다” (Kovac, 1984).

1980년대에 국제수문학회(IAHS) 회장을 역임했던 G. Kovac이 그의 논문 “Proposal to construct a coordinating matrix for comparative hydrology”에서 언급했던 이 말은 수공학의 기본이 되는 수문학의 학문적 발달과정 속에 내포된 적용상 한계성의 배경을 잘 설명해 주고 있다. 이 논문에서 Kovac은 수문학적 조건이 공통적인 “특정 지역 (specific regions)”을 규정함으로써 비교수문학의

틀을 제공하려 하였으며, 지형적, 기후적 조건을 조합하여 새로운 특정 수문지역의 구조적인 카테고리를 제시하였다. 이 범주의 지형적 조건은 경사에 따라 평지, 경사지역과 산악지역의 세 가지로 분류된다. 그러나 Kovac이 제시한 이 카테고리는 조직적, 포괄적이어서 광활한 대륙의 하천유역의 적용에는 유용하겠지만 아시아-태평양 지역과 같이 상대적으로 규모가 작은 하천유역에 적용하기에는 너무 세분화되었다는 지적이 지난 달 3.13~15일간 교토에서 열린 APHW 2003 국제학술대회에서 제기된 바 있다.

이 글은 APHW 2003에서 동경대 Musiake교수가 Kovac의 연구를 토대로 제기한 이러한 문제점의 배경, 대안으로 제안한 몬순 아시아지역의 공통적인 하천 유역특성에 부합하는 좀 더 거시적인 수문학적 지역과 관련된 공동 연구개발 방안의 주요 내용을 소개하고자 한다.

## 2. 아시아 몬순지역에서의 수문·수자원시스템 특성화 방안

Kovac을 포함한 그 동안의 수문학적 지역특성 분류에 관한 연구에서 ‘지역 형태’와 ‘기후’가 지역의 수문학적 특성을 결정하는 가장 중요한 인자로 고려되어 왔다. 그러나, 하천유역에서의 수문학적 특성들은 단순히 이러한 자연적 조건뿐 아니라, 토지와 수자

원 이용, 홍수조절방법 등 인간의 활동에 의해 상당부분 바뀌기도 한다. 특히, 지구상 인구의 60% 이상이 건조지대, 반건조 지대나 반습윤 지대가 아닌 아세아 몬순의 영향을 받는 다습한 지역에 살고 있다. 그러므로 인간활동의 다양한 영향을 수문학적 특성을 바꾸는 상당히 중요한 인자로 간주해야 하며, '자연환경에의 인간 개입'이라는 중요한 인자로 추가되어야 한다. '자연환경에의 인간 개입'은 넓은 의미로 보면 인간의 다양한 수자원관리 활동(수자원 이용, 홍수재해 경감, 환경보전 및 보호 등)과 밀접하게 관련된다. 따라서 이러한 세 가지 인자들을 그림 1과 같이 "수문학-

수자원시스템"의 상호 의존관계로 규정하고자 하며, 수문학과 수자원 문제의 지역적 특성은 이들 세 가지 요인사이에 동적인 상호작용을 하는 것으로 고려되어야 한다.

### 2.1 지형학적 인자

지질지형학(geomorphology)이라는 용어는 지형의 형태와 구조를 의미하거나 지형학(topography)과 지질학(geology) 모두를 의미한다. 토지피복 조건과 관련된 지형학적 인자는 지표유출과 유량, 침투와 침류, 지하수 함양과 유출, 유사이송과 같은 지구상의

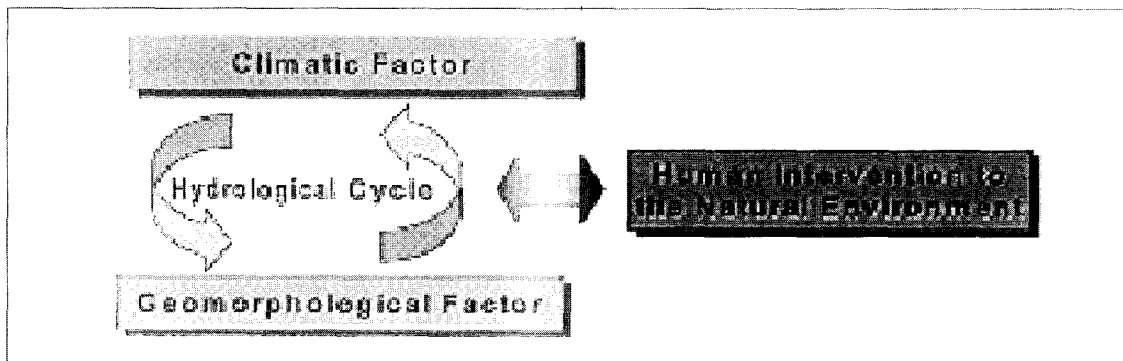


그림 1. 수문·수자원시스템의 3가지 주요 인자

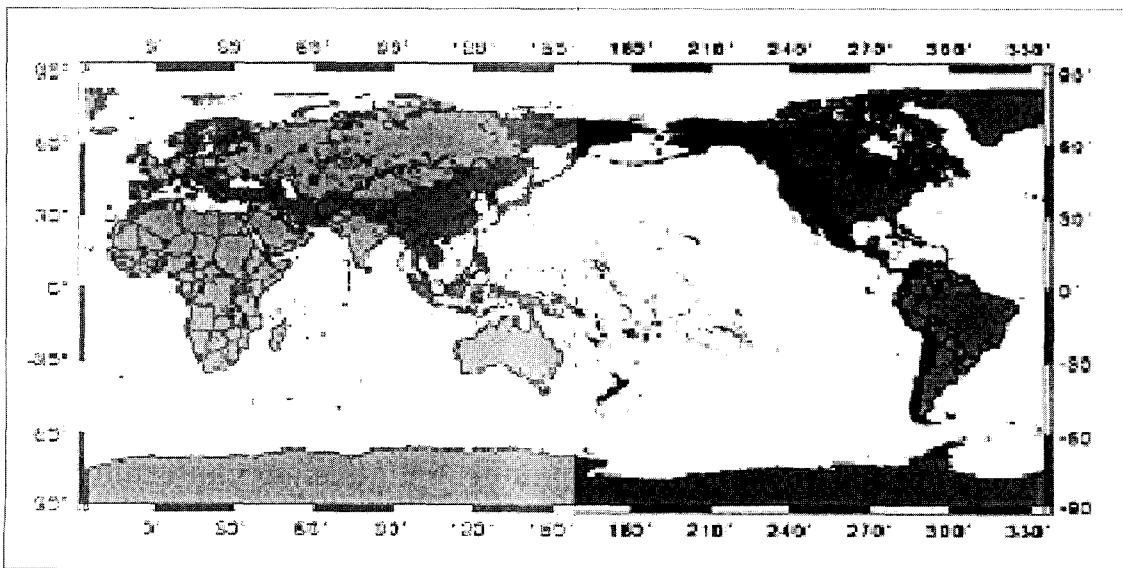


그림 2. 전세계의 구조대분포

모든 수문학적 과정에 지배적인 영향을 미칠 뿐 아니라 토지이용 계획상의 의사결정에 중요한 인자가 되기도 한다.

그렇다면 아시아 지역을 특성화하는 지형학적 인자는 어떻게 표현할 것인가? 범지구적인 관점에서 보면 대륙을 '조산활동 지역'과 오래된 암반지층으로 구성된 '비활동지역'의 두 가지로 구분할 수 있다(Strahler 등, 1992). 지구상의 조산활동은 판구조운동에서 비롯된 것으로 이 벨트를 '구조대(tectonic zones)'라고 부르고 '비활동 지역'은 '안정화 지대(stable region)'라고 부르기로 한다.

그림 2와 같이 이 '구조대'는 다시 Alpine-Himalayan 지대와 환태평양 지대로 분류된다. 이 그림상의 '구조대'의 분포와 같이 Alpine-Himalayan 지대는 알프스와 지중해 연안, 중동과 근동을 지나서 히말라야에 이르며 궁극적으로는 말레이반도, 수마트라와 자바섬 지역까지 포함한다. 환태평양 지대는 뉴

질랜드에서 뉴기니아, 필리핀, 대만, 일본을 거쳐 베트남, 중국 남동부, 한국과 러시아 북동부와 같은 동아시아대륙을 지나서 남북아메리카 대륙의 서해까지 포함한다. 이러한 '구조대'의 지형, 지질학적 토지 조건은 '안정화 지대'와 현저히 다르기 때문에 수문학적 측면에서도 하천유역 특성이 '안정화 지대'와는 명백히 구분된다.

'구조대' 하천유역의 수문학적 주요 특성을 살펴보면 다음과 같다.

- 세계적으로 높은 산악지역의 대부분이 지각변동 지대에 위치하고 있다.
- '구조대'는 지진과 화산활동으로 지질학적 구성 인자가 화성암, 화산생성물, 제3기 형성, 단구 등과 같은 유사한 특징이 나타내며, 유역의 지질은 수문학적 지역적 특성, 하천의 형상과 총적지의 지형에 크게 영향을 미친다.
- 급경사와 연약한 지질은 유수량 증대, 사면붕괴,

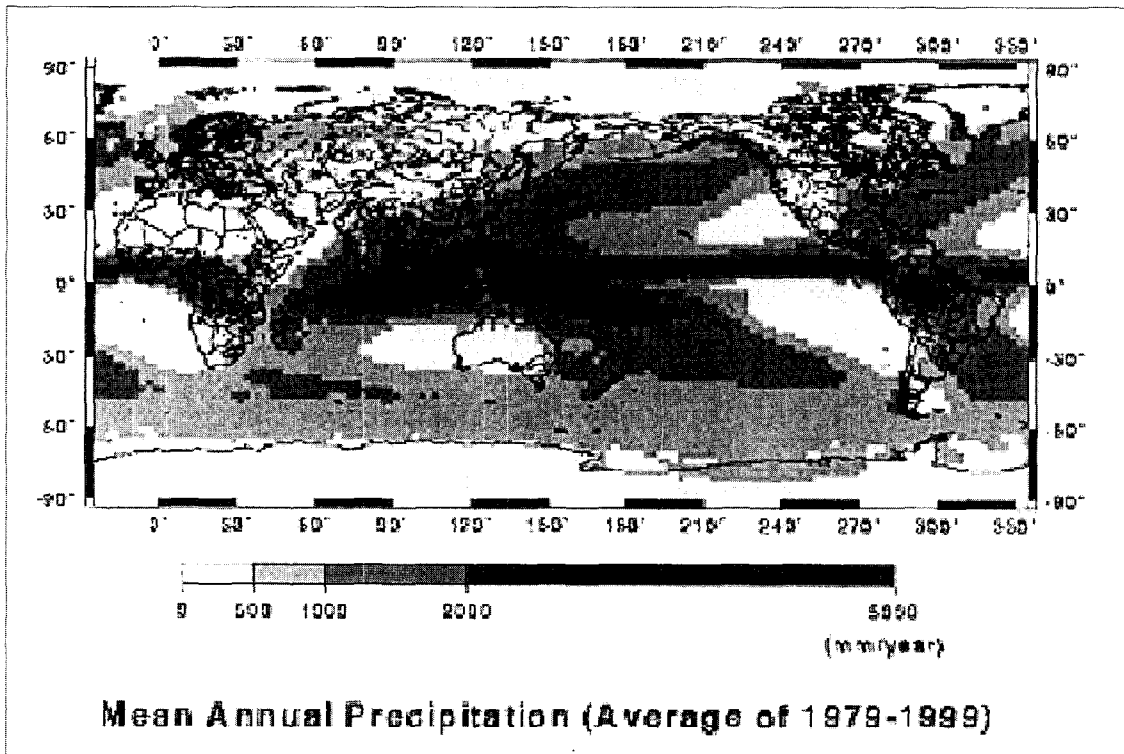


그림 3. 전세계의 년평균강우량 분포

산사태, 산악지역에서의 부유물/진흙물 배출 등의 원인이 된다.

- 일반적으로 '구조대'의 충적지는 충적 선상지, 자연제방지역, 삼각주의 세 가지 지형학적 단위로 구성된다. 반면에 '안정화 지역'에서 대부분의 하천 방향은 침식성(부식성) 계곡과 일치하며, 충적지는 주로 하구근처의 삼각주 내로 제한된다.

## 2.2 기후 인자

수문학적인 관점에서 기후는 주로 '건조 상태'와 '위도'라는 두 매개변수를 조합해서 구별한다. 이러한 두 가지 기후 매개변수의 조합을 통해 20여가지 카테고리로의 분류가 가능하나 지구상에서 실제 존재하는 범주는 다음의 12가지로 구분된다; 습윤 극지, 습윤 반극지, 습윤 온대, 습윤 열대, 아습성 반극지, 아습성 온대, 아습성 열대, 반건조 온대, 반건조 아열대, 반건조 열대, 건조 온대, 건조 아열대(Kovac, 1984).

그러면 동아시아, 동남 아시아와 남아시아 지역은 어디에 속하는가? 그림 3과 같이 동아시아와 동남아시아 대부분의 지역은 습윤한 기후에 속한다. 위도상의 구분으로 한국, 일본, 중국 등 온대지역에 속하는 동아시아 국가들은 여름철에 열대 지역인 동남아시아나 남아시아와 유사할 정도로 고온을 나타낸다. 따라서 거시적인 관점에서 온대와 열대를 같은 범주에 포함시켜서 온난 지역으로 정의한다. 또한 여기에서 아시아의 많은 지역을 대표하는 "온난"과 "습윤"을 조합한 새로운 기후 지역으로 '온난 습윤(warm-humid)' 지역을 규정한다.

## 2.3 새로운 수문학적 지역 "구조대"의 제안

전술한 지형학적, 기후적 요인들을 조합하여 '온난 습윤 구조대'라는 거시적인 수문학적 지역이 새로이 정의되었다. 이 구조대는 태평양의 섬나라들과 아시아 대륙의 동남아 대륙 연안 국가들까지 폭 넓게 포함하게 된다. 마찬가지로 방법으로 "구조대"라는 지형학적 요인을 기반으로 '온난 아습윤 지대', '온난 반건조 또는 온난 건조 지대' 등으로 정의가 가능하며, 이러한 수문학적 지역에 대한 정의에 관해서는 앞으로 좀

더 연구되고 논의되어야 할 것이다. 이 '온난 습윤 구조대'에서는 논 경작, 사면 경작, 홍수터 충적 평야 내 도시 형성 등의 다양한 인간활동 유형을 볼 수 있다.

## 3. 구조대 수문과 수자원 특성

이 '구조대'의 수문학적 특성은 다음과 같이 '안정화 지역'의 특성들과는 대조를 이룬다.

- 주로 구조대에 위치한 산악지대가 강수량이 풍부하여 수력발전 잠재력을 더 많이 가지고 있다.

- 일반적으로 구조대는 산지에서 해안까지의 거리가 상대적으로 짧아서 안정화 지대보다 하천 유역 면적이 작으므로 하천 유역의 규모 면으로 볼 때 통합 하천유역 관리에 안정화지대보다 더 유리한 조건을 갖게 된다.

- '구조대' 지역주민들의 삶과 산업활동이 주로 충적 평야에서 이루어지는데 반하여 안정화 지대의 대부분의 인간 활동은 상대적으로 완만한 구릉성의 고지대에서 이루어진다.

- 범람으로 형성된 구조대의 충적 평야는 홍수에 취약하므로 홍수조절 및 재해경감대책이 안정화 지대보다 더욱 중요하게 다루게 된다.

- 따라서 이 두 지역이 홍수터 관리에 대한 개념도 상당히 다르다. 즉, 안정화 지대에서의 침식성 계곡을 따라 형성된 홍수터에 제방을 쌓는 등의 홍수 조절 시설물을 건설하기보다는 토지 이용의 제한 등의 비구조적인 대책을 적용하고 있다.

## 4. 구조대와 안정화지대 수문학과 수자원 연구

지구상의 수문학적 현상을 지배하는 물리, 화학, 생물학적 원칙들은 전 세계적으로 일반화될 수 있으나 현상자체는 지리적 환경에 따라 지역에 따라 매우 다르게 나타나기도 한다. 따라서 어느 특정 지역에서 개발된 개념이나 방법론이 다른 지역에 적용될 수 없는 경우도 생기며, 수문학과 수자원의 연구 목표 또한 지역에 따라 달라질 수도 있다. 온난습윤 지구대와 안정화지역간의 이러한 차이점을 몇 가지 사례를 들어

보면 다음과 같다.

- 가장 복잡한 분포형수문모형의 하나로 꼽히는 SHE 모형의 초기 버전은 지하수의 횡방향 흐름성분을 고려하지 않았다. 왜냐하면 이 모형은 굴곡이 거의 없는 지형에서 개발되었기 때문이다. 그러므로 급경사의 하천유역이나 두꺼운 표토층을 갖는 산지지형에 대해서는 적용하기 어렵다(Jha 등, 1995).

- 안정화지대의 유사발생원은 주로 토양침식이다. 이러한 토양침식과정은 일반토양 손실방정식이나 수정토양 손실방정식을 사용한다. 그러나 구조대에서는 산사태, 산지 사면붕괴, 암석파편류/니류, 화산폭발 등 여러 가지 다른 유사발생 요인들이 있다. 그러므로 구조대의 이러한 발생요인들로 인한 좀 더 정확한 유사량을 추정하기 위한 체계적인 연구가 우리 지역에서 추진되어야 한다.

- 하천유역에 대한 인식도 건조나 반건조 또는 습윤지역에 따라 달라질 수 있다. 즉, 건조나 반건조지역에서는 수자원이용이 지하수에 의존하는 경우가 많으므로 하천유역에 대한 개념이 희박하다. 반면에 습윤 지역에서는 수자원이용을 하천수에 의존하는 경우가 많고 홍수터에서 홍수범람이 많이 발생하므로 하천유역 관리에 많은 관심을 갖게 된다.

## 5. 결론

그 동안 유럽과 미국 등 선진국 국가들이 주도해 왔던 여러 가지 수문학적 분석기법과 수자원관리 기술개발을 이제부터는 이 지역 고유의 특성을 감안하여 Asia Pacific Way로 추진해 나가자는 제의가 지난 달 제3차 세계물포럼과 연계해서 개최되었던 APHW 2003 국제회의에서 제안되었다.

동경대 Musiake교수는 이러한 제안의 일환으로 이 지역의 지형지질과 기후의 특성을 반영, 몬순 아시아지역의 공통적인 하천 유역특성에 부합하는 좀 더 거시적인 수문학적 지역인 '온난 습윤 구조대'의 설정을 새로이 제의하고 특히 아시아 몬순지역내의 치수 문제에 대한 인식을 같이하고 관련분야 공동연구의 촉진을 제안하였다.

우리나라의 수자원전문가들도 우리 학회를 중심으로 "아시아 몬순지역의 강우 메커니즘", "몬순강우에 대한 ENSO/EL Nino의 영향", "논 경작을 위한 관개배수와 물관리기법", "저지대 축적홍수터에 위치한 도시지역에서의 홍수피해경감 방안", "너무 많은 물(치수)과 너무 적은 물(가뭄)을 동시에 고려한 유역 통합수자원관리 기술개발" 등 이 지역 공통의 주제에 대한 연구와 기술개발에 적극적으로 참여하여 국제화시대의 한국의 수공학 기술을 Global Standard로 향상시킬 수 있는 중요한 전기로 삼았으면 한다.

## 참고/문/헌

고익환 (2003), "APHW 2003 심포지움 참가기", 한국수자원학회지 36권 2호, pp. 112-114  
Jha, R., Herath, S., and Musiake, K. (1995), Application of SHE model to the Japanese Catchment. Proc. Annual Conf. of Japan Soc. of Hydrology and Water Resources, pp. 162-163  
Kovac, G. (1984), Proposal to Construct a Coordinating Matrix for Comparative

Hydrology. Hydrological Sciences-Journal, IAHS, Vol. 29, No. 4, pp. 435-443  
Musiake, K. (2003), Regional Characteristics of Hydrology and Water Resources in Monsoon Asia, Proceedings of APHW 2003, Keynote Speech, March 13-15, Kyoto Japan  
Strahler, A.H, and Strahler, A.N. (1992), Modern Physical Geography. John Wiley & Sons, Inc. pp. 233