

우리나라 하천의 유사관리 대책 및 방향



손 광 익 ▶▶▶

영남대학교 건설시스템공학과 교수
kison@ynu.ac.kr

1. 서론

지난 수 년간에 걸쳐 수행되었던 4대강 사업을 기점으로 대한민국의 강은 그 특성과 모습이 완전히 바뀌었다. 대부분의 하천 공학자들이 이미 주지하고 있는 바와 같이 이러한 급격한 하천환경변화는 중장기적으로 나타나고 있는 기후변화와 어우러져 우리의 하천은 더욱 다양한 모습으로의 변화를 보일 것으로 예상되어왔으며 또 실제로 여러 부분에서 변화를 겪고 있는 실정이다. 이에 우리나라의 하도현황을 통해 미래를 예측하고 외국의 하천 관리 사례를 통하여 우리나라 하천의 유사관리 방향을 제안하고자 한다. 참고로 본 기고문은 지난 9월 하천포럼에서 발표한 자료를 요약 정리한 것임을 밝혀둔다.

하천은 유역의 지형과 지질구조, 토지이용상태 그리고 수자원 이용형태 등에 따라 그 특성이 달라진다. 하천은 오랜 세월을 통해 유역과 밀접한 상호 인과관계를 유지하면서 유역의 반응체로서 하

천기능을 수행한다. 그러나 준설과 보 건설 등을 포함한 4대강 사업으로 인하여 하천의 횡단면과 수심 등 지난 수세기에 걸쳐 조성되었던 하천의 평형상태에 인위적 변화가 가해짐으로서 미래 하천의 모습을 예측하기 쉽지 않은 상황이 되었다. 그러나 이러한 상황에서도 우리 하천공학자들은 우리하천의 장래를 예측하고 가장 바람직한 우리의 하천모습으로 진화할 수 있도록 노력해야 할 의무가 있다.

이를 위해서 본 연구에서는 먼저 사업이후 하천에서 나타나고 있는 다양한 현황을 조사하여 하천의 단기적 변화 경향을 분석하였으며 외국의 하천 관리 성공사례를 통하여 장단기적 하천의 유사관리 패러다임을 구상하여 보았다. 또한 전 지구적으로 나타나고 있는 이상기후 현상 등 장기적 수문특성을 고찰함으로써 제시하고자 하는 하천의 유지 관리 정책의 변화방향에 대한 적절성을 검토하였다.

2. 하천 현황

4대강 사업 이후 새로운 하천환경에 적응하기 위한 하천의 변화과정은 장·단기로 나누어 볼 수 있을 것이다. 단기적 변화로는 보와 같은 수공구조물로 인한 국부적 퇴적 및 세굴 그리고 저수로의

단면 변화 및 본류와 지류 합류부의 국부적 침식과 퇴적 등을 들 수 있다. 다음 단계로는 지류에서의 두부침식 및 보 주변 지하수위 변동 등을 들 수 있으며 장기적 변화로는 하도의 하상재료 특성 및 수심 변화에 따른 수변 식생 및 생태계의 변화 등을 들 수 있을 것이다. 이와 같이 하천에서는 다양한 분야 그리고 시공간에 따라 변화가 발생하나 본 기고문에서 집중적으로 다루고자 하는 하천의 유사관리를 위해서 유사의 발생 및 이송특성을 공간 중심으로 구분하고 각 권역에서 나타나는 대표적 유사관련 현상 및 문제점을 나열하였다.

- (1) 유역 : 토사 발생 및 유출
- (2) 하천 : 하천지형(유심선, 하도형태 등), 하상 특성 변화, 유사 수지 및 하도중단 경사 변화, 하천수질 및 생태환경, 두부침식 등 지류 변화, 하구폐색 등
- (3) 시설물 : 유사이송 연속성(보, 댐 등), 보 주변 국부 세굴/퇴적, 소규모 시설물(교각, 하상 유지공, 암거 및 취수/양수장 등) 주변 국부 세굴/퇴적 등

2.1 유역 유사 및 수문 현황

유역상류로부터 발생하여 하천으로 유입되는 유사의 규모 및 특성은 하천의 평형에 중요한 역할을 한다. 전 지구의 토양 침식률은 평균 150 - 200 t/yr. 로 추정되고 있으며 각 지역별 토사유출 규모 분포도는 그림 1과 같다.

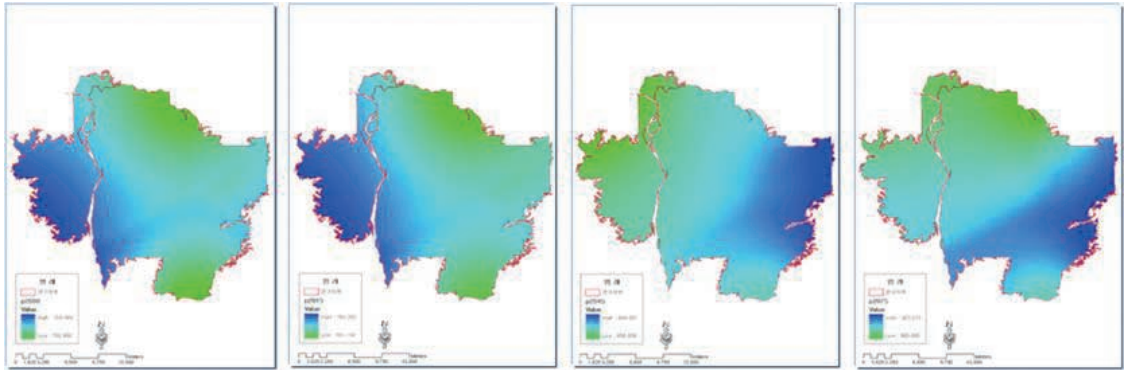
그림 1에서 보는 바와 같이 우리나라의 연 평균 토사발생량은 전세계적으로 볼 때 비교적 높은 수준에 속하고 있다. 한편 토사침식은 강우나 계절에 따른 토사발생 특성도 다양하게 나타나는데 토양 침식 지배인자는 공간특성과 시간특성으로 분류할 수 있다. 특히 최근 전 세계적으로 겪고 있는 기후변화는 유역유사와 대단히 밀접한 관계가 있다. 특히 기후변화에 의한 영향은 여러 분야에서 많은 연구가 진행되고 있으며 우리나라의 경우 연 평균강우량과 지표유출량은 증가하나 여름철의 강우는 감소할 것으로 예상되고 있다. 표 1은 2020년 이후 우리나라 강우특성 변화를 그림 2는 낙동강 중류의 강우분포 변화 예상도이다.



그림 1. 전세계 토사유출량 분포도(Walling and Webb, 1983)

표 1. A2 시나리오에 따른 우리나라 강우특성의 변화 (건설교통부, 2011)

Period		1978~2007	2031~2060		2061~2090	
		Precipitation (mm)	Precipitation (mm)	Variation (mm, %)	Precipitation (mm)	Variation (mm, %)
Annual Precipitation	Han river	1,126	1,210	▲ 83 (▲7.4)	1,263	▲ 137 (▲12.2)
	Nakdong river	1,135	1,207	▲ 71 (▲6.3)	1,282	▲ 147 (▲13.0)
	Geum river	1,135	1,195	▲ 60 (▲5.3)	1,247	▲ 112 (▲9.9)
	Yeongsan river	1,055	1,157	▲ 102 (▲9.7)	1,235	▲ 180 (▲17.1)
Jun.~Aug. Precipitation	Han river	663	519	▽144 (▽21.7)	555	▽107 (▽16.2)
	Nakdong river	637	522	▽114 (▽18.0)	579	▽ 58 (▽ 9.1)
	Geum river	644	532	▽111 (▽17.3)	558	▽ 86 (▽13.4)
	Yeongsan river	541	481	▽ 59 (▽11.0)	532	▽ 9 (▽ 1.6)



(a) 2000년 (b) 2015년 (c) 2045년 (d) 2075년

그림 2. 낙동강 중류유역의 강우분포 변화 예상도 (KEI, 2009)

2.2 하도 현황

그림 3은 4대강 사업이전 낙동강 중류구간에서의 유로변화를 연차별적으로 보여주고 있다. 끊임 없이 유로가 바뀌는 상황을 알 수 있으며 이러한 사형현상은 지극히 자연스러운 현상으로 이러한

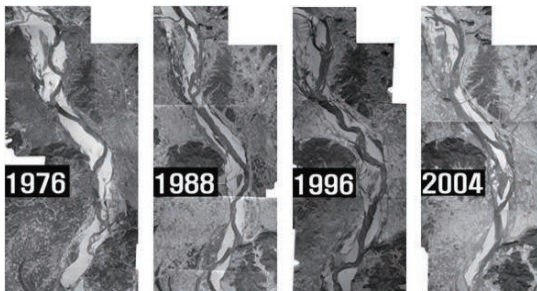
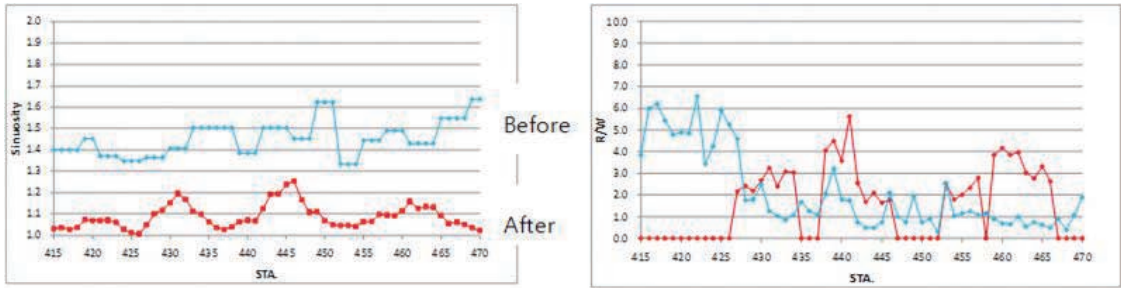


그림 3. 낙동강 중류유역의 연차별 유로변화 양상

현상은 정말 특수한 경우가 아닌 이상 인위적으로 조정할 수도 또 조정해서도 안 될 것이다. 4대강 사업 전후에 대한 하도의 평면적 특성을 나타내는 만곡도(그림 4a)와 곡률반경과 하폭의 비(그림 4b)로부터 하천이 직강화 되었으며 지점별 만곡특성이 변화된 하도형태를 엿볼 수 있다.

지류에서의 종단경사 변화 역시 사업이후 많은 변화가 있었던 사실을 알 수 있다. 그림 5는 낙동강 제 1 지류에서의 종단경사 변화도로 지류에 설치되었던 기존의 하상유지공이 설계빈도를 넘는 수해로 인하여 붕괴된 이후 단 1년 만에 하상이 하도 전반에 걸쳐 낮아진 사실을 확인할 수 있다. 즉, 비점착성 모래질 하상의 하천에서의 두부침식 현상이 대단히 빠른 속도로 진행되었음을 보여주고 있다.



(a) 만곡도 (b) 곡률반경/하폭 비
 그림 4. 사업 전후에 대한 낙동강 중류유역의 평면적 하도특성

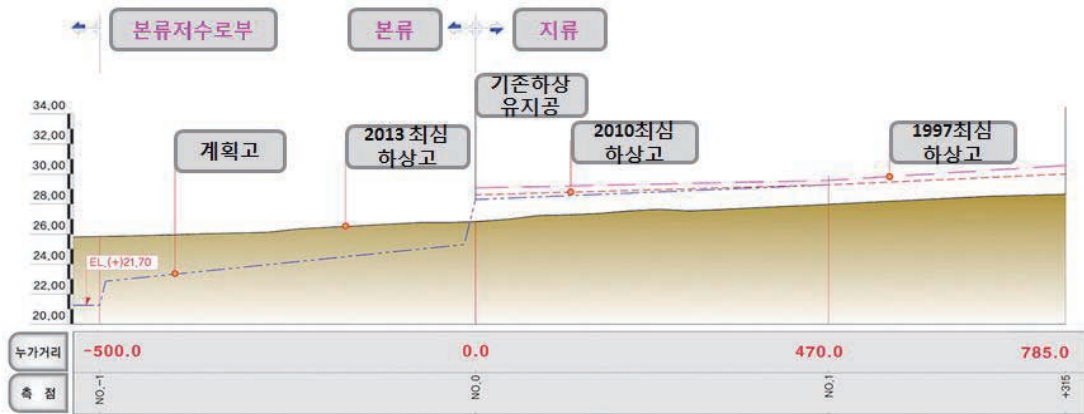


그림 5. 낙동강 제 1지류의 하상변화

한편, 4대강 사업과는 무관하나 서해나 동해의 경우 하구가 유사로 막히는 하구 폐색현상을 보이고 있다. 동해의 경우 일반적으로 하구에 횡으로 발달되는 사구가 형성되는 현상이 여러 하천에서 발견되고 있으며 서해의 경우 하구와 만나는 만 주변에 넓게 실트질 모래가 퇴적되어 수심이 낮아지는 현상을 볼 수 있다. 이러한 현상은 하천의 홍수 배제 능력과 밀접한 것으로 그동안 현업에서 지속

적으로 문제제기가 되어왔으나 하천공학과 해안공학이라는 학문의 경계분야에 있어 문제해결을 위한 접근이 제한적 이었다.

2.3 수공구조물 주변 현황

앞 절에서 기술한 바와 같이 사행도의 인위적 변형이나 수심변화는 또 다른 하도의 변화를 유발하게 된다. 또한 저수로나 고수부지의 강성호안 등으로 인하여 조도계수가 작아지거나 흐름이 반사되는 현상이 나타나게 된다. 이러한 흐름의 반사는 대안으로의 흐름집중현상을 유발하여 대안 제방이 침식되거나 구조물이 붕괴되는 현상을 나타나게 한다. 그림 7은 낙동강 저수로 사면의 침식으로 인하여 교각기초가 드러나는 현장과 제방의 붕괴로 인하여 제방시설물이 파손된 현장을 보여주고 있다.



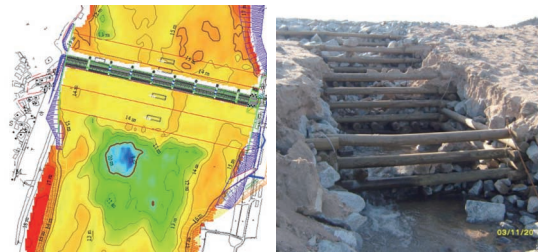
(a) 왕피천 하구 (b) 군선천 하구
 그림 6. 하구폐색 사례



(a) 저수호안 침식 (b) 제방 시설물 파손

그림 7. 하도 변형에 따른 제방사면 붕괴 사례

하상 유지공이나 보 또는 낙차공 주변에서의 고속흐름은 하상변화나 구조물 주변에서의 세굴현상을 발생시켜 심한 경우 구조물이 파손되는 현상도 나타날 수 있다. 그림 8은 보 상 하류에 형성된 세굴 및 퇴적형상과 낙차공이 붕괴된 사례이다.



(a) 보 상하류 하상변동 양상 (b) 낙차공 파손

그림 8. 수공구조물 주변 국부 세굴 및 퇴적 사례

3. 하천관리 경향분석

3.1 사회의 시대적 변화

사회의 시대적 변화를 키워드 중심으로 돌아보면 아날로그 시대로부터 디지털 시대로 그리고 최근에는 스마트 시대로 변하고 있음을 알 수 있다. 아날로그 시대는 소수 전문가와 장인의 시대였다면 디지털 시대가 되면서 이들의 노하우는 디지털로 재현되고 복제되어 세상에 뿌려졌다. 이 시대는 넘쳐나는 제품과 지식으로 혁신의 속도가 빨라졌으나 동일한 방향으로 최대한의 속도로 진행되던

시대라 정의할 수 있을 것이다. 이러한 시대적 변화라는 관점에서 바라볼 때 디지털 시대의 키워드가 지속가능한(sustainable)이었다는 것은 당연하다 할 것이다.

그러나 사회는 다시 이러한 획일성에서 벗어나 다양한 개인의 욕구를 충족시켜주기를 원하는 소비자에 맞춰 기술이 제공되는 스마트 시대로 변하게 되었다. 이러한 스마트 시대로의 변환은 근본적이고, 당연시되던 디지털 시대적 관점의 전환을 요구하게 되었으며 지난 시대의 모든 경계와 권위를 넘으려 하고 있다. 따라서 스마트 시대를 맞은 지금 이 사회는 이 시대에 맞는 또 다른 키워드를 요구하고 있으며 하천관리분야 역시 이러한 변화를 요구하고 있으나 아직 적절한 키워드를 찾지 못하고 있는 실정이다.

한편, 2012년 대통령 선거전부터 나타난 우리나라의 중요한 정책변화 중 하나가 복지다. 이러한 변화는 현 정부의 국가예산에서 더욱 분명하게 나타나고 있는데 바로 복지정책 중심, 유지관리 중심으로 정책이 바뀌면서 결국 SOC 사업에 대한 예산 및 투자가 급감하게 되었다. 경제적으로 우리보다 앞선 나라들의 건설관련 예산비율은 지금 우리나라의 절반수준 정도로 이는 향후 우리나라의 건설관련 예산이 약 1/2 수준까지 더 줄 수 있다는 가능성을 시사한다 하겠다. 따라서 우리는 이 나라들의 현재 건설 및 하천관리정책 방향을 면밀히 분석하고 검토함으로써 향후 우리가 나아가야 할 방향을 정립하는 시금석으로 활용해야 할 것이다.

3.2 세계의 하천관리 정책 경향

일본의 경우 하천법의 변화과정으로부터 하천관리 패러다임의 변화를 찾아볼 수 있다. 구하천법(1896)이 치수 중심이었다면 신하천법(1964)은 이수와 치수 중심임을 알 수 있다. 나아가 수정하천법(1997)은 이수와 치수에 더해 환경을 고려한 자연재생사업 중심의 하천관리 패러다임을 추구하였

다. 또한 최근의 통합수자원관리법(2008)에서는 물의 흐름형태를 복원하고 조경 및 식생 등 충분한 하천공간을 제공하여 인간친화적 자연의 서식처를 제공하려는 노력을 하고 있다. 그 일환으로 1970년대 중반부터 1980년대 중반까지 하도의 평면형태를 직강화 중심으로 하도관리를 해 오던 것을 최근에는 하천의 사행을 복원시키고자 하는 재사행(re-meandering) 개념 중심으로 하도를 관리하고 있다. 이는 직강화 및 강성 호안공 등 인위적 하천관리 패러다임의 한계성을 인정하고 새로운 하천관리의 방향을 제시한다고 할 수 있다.

네덜란드의 경우 역시 1995년 하천정책을 선 개념으로부터 면 개념으로 전환하면서 하천중심에서 유역중심으로 하천을 관리하고 있다. 하천을 위한 공간을 제공한다는 room-for-the-river 정책은 이미 전 세계적으로 잘 알려진 성공사례로 손꼽히고 있다. 이 관리정책은 하나의 재해에 초점을 맞추는 자연과학적 접근이 아니라 재해 발생지역에 초점을 맞추는 사회과학적 접근을 추구하고 있으며 하천의 관리는 단일기관인 정부가 아니라 거버넌스 중심으로 다양한 이해당사자들에 의해 위험을 관리하며 정책결정 과정에서 의견수렴과 소통을 통하여 다자간 정책에 따른 물관리가 가능하도록 하고 있다. 이 정책 역시 하천관리 방법을 제시하는 좋은 예로서 특히 앞 절에서 기술한 시대적 흐름과 일맥상통한다 하겠다.

스위스의 경우 역시 1987년 hazard에 대한 대응중심으로부터 위험도를 일정부분 인정하며 충분한 수공간을 제공하는 하천정책으로 변화되었으며 머레이-다링 강(호주, 2004)이나 Hotopia 계곡(미시시피, 1991)의 하천관리 정책 역시 습지와 저류지 확보는 물론 저수로 침식 등을 고려한 생태환경 개선을 위하여 수공간을 확보하는 반면 인위적, 하도관리자 중심의 하도관리 정책을 지양하고 있다.

4. 하천의 유사관리 방향

4.1 하천관리의 방향성 정립

전 절에서 기술한 이 시대의 사회적 요구나 하천관리 방향으로부터 지난 수 십년간 하천관리 등 많은 분야에서 사용되던 지속가능한(sustainable)이란 키워드에 대한 조심스런 검토와 함께 수요자 중심, 이해 당사자 등 다자간의 소통과 의견조율이 가능한 새로운 개념의 하천관리 방향 설정이 필요함을 알 수 있다.

지금까지 사용되고 있었던 지속가능한 개발에 대하여 WCED(1987)는 '미래세대의 수요 충족능력에 관계없이 현재 수요를 충족시킬 수 있는 개발'로 정의하고 있다. 한편 지금의 사회가 요구하는 새로운 하천관리는 3장에서 기술한 미래의 변화에 적응할 수 있는 패러다임이라 할 수 있다. 이러한 하천관리와 관계된 키워드로는 적응력(Adaptability)을 들 수 있다. Andersen과 Gronau(2005)는 적응력이란 '조직 분야에서 발생하는 변화에 적응하고자 다른 것들을 변화시키거나 자신이 변화하는 능력'으로 정의하고 있으며 Michael Conrad(1983)는 '생태학적으로는 예상치 못한 환경적 교란에 대응할 수 있는 능력'으로 정의하고 있다. 이미 잘 알려진 바와 같이 하천환경은 그 하천이 속해있는 지역의 지형조건 및 기후조건 등에 영향을 받고 있는데 이상기후 등으로 인하여 미래의 기후조건 변화 가능성에 대해서는 많은 전문가들이 공감하고 있다. 따라서 우리의 하천관리도 이제 미래 환경변화에 대응할 수 있는 적응력 있는 개발의 패러다임과 함께 스마트 시대가 요구하고 있는 사회적 요구를 충족시킬 수 있는 하천관리 정책이 필요한 것으로 판단된다.

4.2 하천 유사관리 방향

앞서 기술한 이 시대의 현황 및 세계의 하천관리

정책의 변화를 고려할 때 우리의 하천관리 전략에 수정이 필요하며 특히 우리 하천이 당면하고 있는 각종 하천유사와 관계된 현상을 고려하여 아래와 같은 패러다임의 변화를 제안하고자 한다.

- 스마트 하천 관리정책으로의 패러다임 변화
 - 수요자 중심의 Bottom-up방식
- 정부주도형 개발정책 지양
 - 거버넌스 등 다자간 정책 개발
- 연성 공학적(soft river engineering)기법 적용
 - 식생 등 친생태학적 시공법을 이용한 제방과 하상 등의 피해 최소화
- 천변 저류지/상습 침수지/습지 등 충분한 하천공간 확보
- 홍수터 관리의 최소화
- 토지이용/위험지도 등 비구조적 하천관리 기법 개발

또한 우리나라 하천의 현황을 고려할 때 우리가 더 유의해야 할 하천 유사관리에 필요한 기술적 과제는 중장기와 단기로 나눌 수 있으며 각각에 대한 과제는 아래와 같다.


- 대규모 유역에 대한 중장기적 과제
 - 기후변화가 하천시스템에 미치는 영향 예측 및 분석
 - 하천유역단위의 통합 유사관리
 - 현재와 미래하천의 기능 유지
 - 상류유역 토사유출 및 침식조절
 - 유역유사 수지분석

- 중소규모 유역에 대한 단기적 과제
 - 횡단구조물 상하류 유사연속성 확보방안
 - 구조물 주변 국부 세굴 및 침식
 - 하구 및 연안유사(하구폐색 및 침식 등)
 - 유사에 의한 생태·환경학적 영향
 - 유사량 계측 및 모델링
 - 유사관련 재해(토석류 등)

5. 결론

하천환경이 급변한 우리하천의 현황과 전 지구적으로 나타나고 있는 기후변화에 따른 기상이변으로 인하여 우리의 하천 유사관리에 대한 중요성이 부각되고 있다. 본 기고문에서는 이러한 지구과학적 변화뿐만 아니라 사회적으로 나타나고 있는 시대적 변화에 부응할 수 있는 하천관리 패러다임의 변화 방향을 제안하였다. 인류와 자연이 공존할 수 있는 하천의 적응성 확보와 함께 관리주체의 다양성 인정을 요구하는 시대에 부응할 수 있는 스마트 하천관리로의 정책변환 필요성을 제안하였으며 하천유사와 관계된 체계적 연구가 필요한 하천공학 과제를 나열, 제시하였다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비 지원(11기술혁신C06)에 의해 수행되었습니다. 

참고문헌

1. 건설교통부 (2011) Water Vision 2020 건설교통부.
2. Andersen, K., Gronau, N. (2005) An Approach to Increase Adaptability in ERP Systems. In: Managing Modern Organizations with Information Technology : Proceedings of the 2005 Information Resources Management Association International Conference.
3. KEI (2009) 기후변화 연동 4대강 유역 지하수 함양 및 이용가능량 산정기법 개발, 한국환경정책평가연구원.
4. Michael Conrad (1983) ADAPTABILITY: The Significance of Variability from Molecule to Ecosystem, Plenum Press, New York.
5. Walling D.E, B.W Webb(1983) Patterns of Sediment Yield in KJ Gregory (ed.) Background to Palaeohydrology, Chichester, Wiley:69-100.
6. World Commission for Environment and Development WCED (1987) 'Our Common Future' (Oxford: Oxford University Press).