

하천취수와 유사이동

정 관 수*

1. 머리말

물은 대부분의 하천제방을 따라 설치되어 있는 수 많은 취수시설을 통해 생활용수, 농업용수 또는 공업용수등과 같이 여러 가지 다른 목적을 위해 취수된다. 하천에서 취수된 물로 인하여 인간의 제반 활동은 윤택해진다. 하지만 길게는 수백년 짧게는 수십일에 걸쳐 도달한 하천 고유의 균형상태(equilibrium condition)가 인간의 편의를 위한 하천시설물 건설이나 홍수 등의 천재로 인하여 파괴되며, 이에 따라 하천은 기존의 균형을 상실하고 이 변화를 수용한 새로운 균형에 도달하기 위하여 유사이동에 의한 세굴과 퇴적 등을 반복하는 일시적인 불균형상태를 유지하게 된다.

이러한 하천의 유사이동 연구에 고려해야할 두가지 중요한 요소를 꼽는다면 수면변화와 하상변화라 할 수 있다. 이 두가지 변화는 유사의 세굴이나 퇴적 때문에 일어날 수 있는 현상이라 할 수 있다. 일반적으로 이 같은 문제를 풀기 위해서 물 흐름에 관련된 운동량 보존 방정식과 연속방정식 그리고 유사이동에 관한 연속방정식, 유사관계식 및 마찰공식 등 기본방정식들과 관계들이 이용된다.

하천을 따라 유량이 증가 또는 감소됨에 따라 발생하는 부등류는 일정한 유량을 가진 등류보다 해석이 어렵다. 하천유량의 증감은 물의 흐름 에너지

또는 운동량 변화의 원인일 뿐만 아니라, 유량이 점차 증가하는 형태의 흐름은 유량이 점차 감소하는 형태의 흐름과는 수리학적 거동이 약간 상이하기 때문에 해석이 용이하지는 않다. 유량이 일정하게 증가하거나 감소하는 흐름에 대한 해석은 Li (1995), Chow(1959), Henderson (1966) 등에 의해 자세히 설명되어 있다.

한편 등류상태이면서 일정한 유량을 가진 하천의 흐름은 일정한 유사이송능력을 갖게 된다. 만약 유량이 감소하거나 증가할 경우 하천 하류 각 구간마다 유사이송능력은 변하게 된다. 따라서 각 하천마다 유입 유사량과 유출 유사량의 차이는 세굴하거나 퇴적하는 형태로 나타날 수밖에 없다.

일반적으로 취수장 주변과 취수구의 퇴사문제와 같이 취수시설물에 장애가 될 가능성이 있는 문제를 해결하기 위해 많은 노력을 하는데 이는 취수장 운영이나 취수시설의 효율성에 직접적인 영향을 미치기 때문이다. 유사농도가 높은 하천에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 작은 널판지 같은 판을 세워 유사의 방향을 바꾸거나(vanes), 난류를 만들어 퇴적을 방지하거나(vortex tubes), 또는 구조물을 만들어 유사를 가두는 장치(sand traps)등이 이용되고 있다. 그럼에도 불구하고 아직도 국부 세굴 및 퇴적, 그리고 취수탑 유사유입에 관련된 많은 문제가 빈번히 발생하고 있다. 이러한 문제는 하천 흐름의 3차원적인 측면이나 취수구 주변의

* 한국수자원공사 특수지역사업본부 건설처

특집 : 취수장 주변의 수리현상

난류에 의한 부유사 문제와 같은 복잡성 때문에 수리모형실험을 통해 해결하는 것이 일반적이다.

자연하천에서의 취수의 영향은 취수구의 상류나 하류부분에 장기적인 세굴이나 퇴적으로 나타나게 되어 이에 따른 수위변화가 발생하게 되며, 이것이 하천의 이송능력과 유사공급간의 균형을 깨는 요소가 된다. 물을 사용하는 사람들의 직접적인 관심이 아닐지라도 취수구 하류의 퇴적과 수위상승은 하류부근의 홍수를 발생시키는 원인이 될 수 있을 뿐만 아니라 갈수기의 수심감소, 교량과 하상의 여유공간이 미확보되는 등의 문제를 야기할 수 있다.

취수와 관련된 하천 유사운동은 여러 가지 측면에서 고찰해볼 수 있으나 본고에서는 이미 발표된 몇편의 논문과 보고서를 토대로 취수에 의해 생기는 장기적인 하상의 세굴과 퇴적현상에 초점을 맞추어 간단하게 살펴보기로 한다.

2. 하천취수와 유사이동

하천이 균형을 이루고 있는 상태에서의 취수영향은 유수와 유사이송에 대한 연속방정식과 운동량 방정식으로 결정할 수 있다. 등류와 정상류조건에서 물 흐름에 관하여는 Chezy 방정식이 응용될 수 있으며, 유사의 운동에 관한 일반적인 이송관계는 다음식으로 나타낼 수 있다.

물 : $Q = CBh_n \sqrt{h_n i}$ (1)

유사 : $S = A \left(\frac{h_n i}{AD} \right)^{b/2}$ (2)

또는 $S = A' u^b$ (3)

여기서, Q=유량, C=Chezy의 조도계수, B=하천폭, h_n =수심, i=하상경사, S=단면 총유사량, Δ=유사밀도, D=대표토사입경, u=평균유속, A, A', b=계수이다.

식 (1)과 (2)를 정리하면 식(4)와 같이 된다.

$S = A'' Q^{b/3} i^{b/3}$ (4)

여기서 $A'' = F(B, C, Δ, D)$ 이다.

취수에 관계없이 상류측으로부터의 유사공급이 일정하다고 가정하면, 취수지점 하류부에는 상류에서 공급한 동일한 양의 유사가 하천취수로 인하여 줄어든 유량에 의해 이송되어야 하므로 불균형 상태가 형성된다. 물론 이러한 현상은 위에서 언급한 유사배제 방법에 의한 선택취수를 하므로써 유사가 취수구에 유입되지 않을 때만 가능하다. 이와 같은 문제 해결을 위해 다음과 같은 연속방정식이 적용될 수 있다.

물 : $Q_1 = Q_0 - ΔQ$ (5)

유사 : $S_1 = S_0$ (6)

여기서 밀첨자 0=상류의 초기조건, 밀첨자 1=하류상태, ΔQ=취수량이다.

만약 취수에 의해 하천폭과 조도계수가 변하지는 않는다고 가정하면 계수 A''와 b는 상수로 처리할 수 있으므로 식 (4)와 (5)를 결합하면 다음과 같다.

$Q_1 i_1 = Q_0 i_0$ (7)

식(5)와 (7)을 결합하면 식(8)이 된다.

$i_1 = \left(\frac{Q_0 - ΔQ}{Q_0} \right) i_0$ (8)

유사의 연속방정식과 식 (3) 및 (8)를 풀면 다음과 같다.

$h_{n1} = \left(\frac{Q_0 - ΔQ}{Q_0} \right) h_{n0}$ (9)

그러므로 하천으로 부터 취수함에 따라 하류 하상경사는 급해지고 수심은 낮아진다. 일반적인 경우 그림 1(a~d)는 하상과 수위가 취수에 어떻게

적용하는가를 보여주고 있다. 그림 1(a)는 $t=0$ 일 때, 즉 취수를 막 시작한 순간의 배수곡선을 포함한 하천의 초기상태를 보여주고 있다. 하천 하류 경계 조건은 세가지로 구분할수 있는데, 첫째는 하류에 호수나 바다와 같이 조절점(Control point)이 되는 고정된 수심, 둘째는 h_{n0} 와 h_{n1} 사이에 수심 차이를 갖게하는 수심 감소점, 셋째는 하류의 수공구조물 등에 의해 조절되는 수위 등을 들 수 있다.

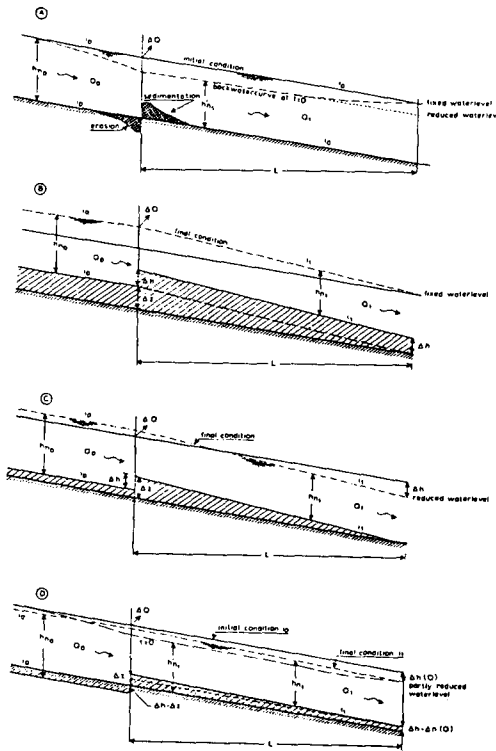


그림 1. 취수로 인한 이론적인 하상변화 (Kerssen and Urk 1986)

그림 1(b~d)는 앞서 기술한 하천의 최종 균형상태(final equilibrium condition)를 나타낸 것이다. 취수지점에서 하상의 상승 Δz 는 하천경사가 급해짐으로써 발생한다. 뿐만 아니라, 하천의 하류와 상류사이의 등수심 차이 때문에 하상의 불연속차 Δh 가 이 지점에서 생기며 이 값은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta z = (i_1 - i_0)L = \left(\frac{Q_0}{Q_0 - \Delta Q} - 1\right)i_0L \quad (10)$$

$$\Delta h = h_{n0} - h_{n1} = \left(1 - \frac{Q_0 - \Delta Q}{Q_0}\right)h_{n0} \quad (11)$$

여기서 L = 취수지점에서 하류경계지점까지의 거리. 위식에서 분명하게 나타나듯 L 값과 관계있는 Δz 와 Δh 로 세굴이나 퇴적이 취수지점의 상류에서 발생할 것인가 아닌가를 결정하게 된다.

위에서 언급한 간단한 이론식은 단지 하천의 최종 균형상태를 결정하는데만 사용될수 있을 뿐만아니라 매우 개략적이고 단순화된 것이다. 실제에 있어서 하천은 여러 가지 사행형태나 홍수터의 퇴사형태 및 모든 미세한 변화에 민감하게 반응한다. 이러한 하천의 특성 때문에 실제적으로 하천은 수백년이 지나도 최종 균형상태에 도달하지 못하는지도 모른다. 따라서 취수가 하천에 미치는 영향은 시간의 함수로서 표시되어야한다. 과거에는 하천의 균형상태를 알아보기 위하여 비교적 짧은 하천구간에 대한 수리모형 실험을 이용했다. 하지만 최근에는 천이상태와 균형상태를 더 자세하고 정확하게 나타낼수 있기 때문에 수학적모형이 선호된다. 이것은 차세대 컴퓨터의 큰 저장용량과 계산능력 그리고 단위시간당 계산경비감소로 인하여 긴 하천구간과 장시간 처리가 가능하게 되었기 때문이다. '60년대에 델프트수리실험소에서는 잘알려진 Hec-6와 비슷한 특징을 가진 ZANTRI라는 1차원 유사모형 개발을 신호로 수십년동안 하상변동을 예측하기 위하여 수많은 모형이 개발되었다.

하상변동 모형의 다양한 특성들 중에서 취수구 주변의 퇴사문제와 관련하여 중요한 것은 흐름방향은 물론 횡방향으로 하상이 변화하는 것을 모의할수 있어야 한다는 것이다. 이 점에서 흐름방향의 하상변동만 모의하는 1차원 모형보다는 횡방향까지 모의하는 2차원 모형이 취수구 퇴사 문제와 관련하여 보다 효용성이 크다고 볼 수 있다. 그러나 1차원 모형은 적용의 간편성 및 보편성 등 때문에 여전히 유용한 모형으로 볼 수 있다. 특히, 하상변동은 댐축조, 대규모 골재채취 등 주로 상류의 유

특집 : 취수장 주변의 수리현상

사공급의 변화로 인하여 1차원적인 성격이 큰 경계 이용할 수 있다. 각모형의 개발 연혁 및 특징
우에는 1차원 모형을 취수구 퇴사 예측에 유용하 비교는 표 1에 잘 정리되어 있다.

표 1. 하상변동 예측 모형의 개발 연혁 및 특징(건기연 1991)

모형	개발자	개발 년도	하 상 성 질	유 형 분 류	결 합 모 형	하 상 변 동 특 성	삼 차 원 유 의	수 치 해 결 방 법	참고문헌
HEC-6	미공병단 (Thomas & Prashun)	1977 '90개정	공공	1차원 준정상류	uncoupled	단 일 다 지 하 천	가	유 한 차 분 법	Thomas & Prashun (1977)
TABS2	미공병단		공공	2차원				유 한 요 소 법	Fan(1989)
GSTARS	미개척국 (Molinas & Yang)	1986	공공	1차원 준정상류	uncoupled	단 일 하 천			Molinas & Yang(1986)
ONED3X	미지질 조사국		공공					특 성 법	Fan(1989)
IALLUVIAL	미공병단 + 아이오와대학 (Holly & Karim)	1985	공공	1차원 준정상류	uncoupled (quasi-coupled)	단 일 하 천	가	유 한 차 분 법	Karim (1985)
BRALLUVIAL	아이오와대학 (Yang)	1986	공공	1차원 준정상류	uncoupled (quasi-coupled)	다 지 하 천	가	유 한 차 분 법	Yang(1986)
CHARIMA	아이오와대학 (Holly)	1990	공공	1차원 부정류	uncoupled (quasi-coupled)	다 지 하 천	가	유 한 차 분 법	Holly 등 (1990)
UUWSR	미 콜로라도 대학 (Simons & Chen)	1975	사유	1차원 부정류	uncoupled	다 지 하 천	불	유 한 차 분 법	Chen & Simons (1975)
KUWASER	미 콜로라도 대학 (Simons)	1975	사유	1차원 부정류	uncoupled		불	유 한 차 분 법	Simons 등 (1975)
HEC-2SR	Simons & Li Associates	1980	사유	1차원 준정상류	uncoupled		가	유 한 차 분 법	Simons 등 (1975)
RESSED TWO DSR	미 콜로라도 대학 (Chen)		사유	2차원				유 한 차 분 법	Chen(1973)
CHAR-1	SOGREAH (Cunge)		사유	1차원 준정상류	coupled		불		Holly(1986)
CHAR-2	Cunge & Perdreau	1973	사유	1차원 부정류	uncoupled		불		Cunge & Perdreau (1973)
CHAR-3	Cunge & Simons	1975	사유	1차원 부정류	coupled		불		Holly(1986)
CHAR-4	Chollet	1977	사유	1차원 부정류	coupled		불		Holly(1986)
FLUVIAL-11	미 샌디에고 대학 (Chang & Hill)	1976	사유	1차원 부정류	uncoupled		가	유 한 차 분 법	Chang & Hill (1976)
FLUVIAL-12	미 샌디에고 대학 (Chang)	1990	사유	1차원 부정류	uncoupled		가	유 한 차 분 법	Chang(1990)
SEDICOUPL	Holly & Rahuel	1990	사유	1차원 부정류	coupled	다 지 하 천	가	유 한 차 분 법	Holly & Rahuel (1990)
SEDIMENT-4H	Resources Management Associates	1977	사유	2차원 부정류	uncoupled			유 한 요 소 법	NRC(1983)
RIVMOR	De Vries (DELFT)	1969 1979개정	공공	1차원 부정류				유 한 차 분 법	De Vries (1969)

3. 맺는말

자연하천은 오랜 세월의 세굴과 퇴적을 거쳐 균형상태에 도달한다. 인간이 편의를 위하여 하천을 개발하지 않는다면, 홍수와 같은 천재지변만이 자연하천의 균형상태를 흐트리는 요소일 것이다. 하천취수도 하천의 균형을 깨뜨리는 인간의 행위라고 할 수 있다. 하천은 취수로 인한 변화에 대응한 새로운 균형상태에 도달하기 위하여 여러가지 활동을 하게 되며, 세굴과 퇴적은 그 중의 일부일 뿐이다.

본고에서는 취수에 의해 유량변화가 생기는 경우 장기적인 하상의 세굴과 퇴적현상에 대하여 간단한 1차원 수식과 개략도를 이용하여 설명하고 현재 사용중인 하상변동예측모형들에 관하여 살펴보았다.

참 고 문 헌

건설부 (1993). 하천환경정비 기초 조사연구 보고서.
 건기연 (1991). 하상변동예측모형의 비교분석 보고서.
 산업기지개발공사 (1987). 창원본포 취수장 및 부여 취수장 하상변동 및 취수대 책조사 보고서.
 Chow V.T. (1959). "Spatially varied flow." Open-channel Hydraulics, McGraw-Hill, New York, pp. 327-350.

Gordon, J.L, and Parkinson, F.E. (1987). "Andekaleka gathering tube hydropower intake." J. of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 113, No. 8.
 Henderson, F.M. (1966). Open Channel Flow, McMillan Publishing Co., Inc.
 Johnson, P.L. (1988). "Hydro-power intake design consideration." J. of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 114, No. 6.
 Johnson, J.C., and Etema, R. (1987). "Passive intake system for shallow sand-bed river." J. of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 114, No. 6.
 Kerssen P.J., and van Urk, A. (1986). "Experimental studies on sedimentation due to water withdrawal." J. of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 112, No. 7.
 Li, W.H. (1955). "Open channels with non-uniform discharge." Transactions, American Society of Civil Engineers, Vol. 120, pp. 225-274.
 Nakado, T., and Kennedy, John. F. (1990). "Pump-station intake-shoaling control with submerged vanes." J. of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 116, No.1. ♣