

제 7 장 하천 취수원내 유사유입 저감 방안

손 광 익

7.1 서 론

국내 지자체 및 한국수자원공사에서 운영중인 상수도시설의 취수시설중 일부는 취수시설 상류에 유사가 퇴적되어 사주가 발달되며 취수시설내에 유사가 유입되어 퇴사처리 문제가 빈번히 발생하고 있다. 또, 일부 취수장은 상류에 댐이 건설되거나 하구둑 등의 건설로 인하여 하상의 상승 등 복합적인 원인에 의한 퇴사문제도 내포하고 있다. 이로 인한 취수 및 수처리 과정중에 발생하는 장애에 대하여 준설과 같은 일시적인 문제해결이 아닌 취수시설 주변의 근본적인 퇴사 및 유사 유입방지 대책의 수립이 요망된다. 따라서 본 절에서는 취수원내 퇴사 및 유사유입과 관련된 국내 취수장의 현황, 유사 이동역학 및 조절에 대한 접근방법, 국내·외 취수시설 분류 및 시설기준 비교, 유사조절기법의 소개 그리고 적용사례 등 취수원에서 발생하는 퇴사 및 유사유입에 대하여 기술하였다.

7.2 취수구 퇴사 실태

7.2.1 퇴사로 인한 취수장애 일반적 특성

국내외적으로 하천 및 저수지의 많은 장소에서 상당량의 토사가 유동되고 있다. 이와 같은 현상은 토사가 소규모 저수지 및 취수보 등의 저수용량을 감소시키고 있기 때문에 취수, 관개 및 수력이용 등의 목적으로 지표수를 사용하고자 할 때 문제를 야기하게 된다. 따라서, 토사가 취수구로 유입되고 수로에 퇴적되거나 수력기기 또는 수리시설물의 마모 등과 같은 해를 일으키게 된다. 이와 같은 문제들은 취수 구조물을 적절하게 설계하는 것이 가능하다면 해결될 수 있다. 취수구는 하천으로

부터 물을 수로로 전환하기 위해서 건설되는 수리구조물로서, 취수구 주변에서의 토사이동은 1) 취수구 주변에서의 토사퇴적과 취수구의 폐색을 야기, 2) 취수구로의 토사의 유입 및 수로내의 퇴적을 야기, 3) 토사가 부유상태로 운송되어 수력기기의 마모를 야기등의 문제를 일으킬 수 있다.

토사의 농도는 수면 가까운 곳에서 낮게 나타나고, 2차류가 토사를 하천의 한쪽 구간으로 유동시킬 수 있는 수리학적 현상을 이용하면 문제를 최소화시킬 수 있게 된다. 하천의 곡류부에서는 원심력의 영향으로 2차류가 발생하게 된다. 이것은 큰 유속을 가지고 수체(water body)에 영향을 미치게 되는데, 만곡부의 경우 외측제방에 힘을 가하게 되며 하상에 가까운 수체는 내측제방에 힘을 가하게 된다. 토사의 농도가 수체의 윗부분에서는 낮기 때문에 만곡부의 외측제방에서의 수체는 내측제방에 가까운 곳에서의 수체보다도 낮은 토사농도를 가지게 되며 따라서 일반적으로 취수구는 하천만곡부의 외측부에 위치하여야 한다.

취수구조물 부근의 유사집중에 대해서도 고려하여야 하며, 유사집중지점에서 취수된 물은 도수관로, 취수 펌프의 마모, 제반기능의 저하 및 악화 등의 문제점을 수반하므로 취수시설물 위치는 보편적으로 유사의 농도가 적은 유역외측 곡선 구간이하류 말단부가 적합하다.

7.2.2 국내 현황

국내에서도 최근에 들어 용수확보를 위해 하천상류에 댐을 건설하거나 지방자치단체에서 지방재원을 확보하기 위한 수단으로 하상의 골재를 채취함으로 인하여 일부 하천에서 하상의 변동과 취수구조물의 세굴 등이 초래되고 있다. 또한 유역내에서 발생하는 각종 오염물질 배출의 증가로 하천수질이 악화되고 이에 따라 하상의 오염도 점차 증대되고 있는 실정이다. 따라서 하·폐수처리장의 건설 뿐만 아니라 적극적인 하상저니의 제거가 수행되어야 향후 하천수질의 개선이 가능할 것이다.

이에 따라 취수장의 주요 장애요인인 퇴사와 저니문제가 발생하고 있는 곳이 여러 취수장에서 나타나고 있다. 하천 및 저수지에서 상수도 취수장 부근의 퇴사로 인한 취수장애 문제와 오염된 유사의 퇴적으로 인한 수질문제에 대한 연구조사(한국건설기술연구원, 1993)에 의하면 우리나라 직할하천 취수장들의 36%가 퇴사문제

를 안고 있으며, 이중 18 %는 다소 심각한 것으로 조사되었다.

유역 및 위치별로 살펴보면 표 2.1에서와 보는 바와 같이 취수구의 주위 퇴사문제로 오랜기간 동안 취수장애가 발생하고 있는 취수장으로서는 한국수자원공사의 금강부여취수장, 창원 본포취수장, 구미취수장 등이 있고 취수구 주위에 퇴사문제가 다소 있다고 보고된 취수장으로서는 부산시의 물금취수장, 대구시의 다사취수장 등이 있었다. 또한 취수구의 주위 저니오염문제가 발생 가능하다고 보고된 취수장으로서는 부산시의 물금취수장, 목포시의 몽탄취수장, 한국수자원공사 대청취수장, 예산취수장 등이 있다.

이들 취수장에서의 입경분포 분석결과는 하천취수장(부여, 본포, 구미, 다사 등)의 경우 하상의 구성물질은 대부분 모래이며, 댐, 하구둑, 보 등에 의해 형성된 저수지에 설치된 취수장(청수-영산강 하구둑, 대청-대청댐, 예산-보 등)의 바닥은 주로 실트로 되어 있다. 물금의 경우 낙동강 하구둑의 영향은 받지만 하구둑에서 상당히 상류에 있어 주로 세사가 퇴적되어 있는 것으로 조사되었다.

하천에 설치된 취수장의 경우도 곳에 따라 약간의 이토가 채취되었으며, 이는 특히 취수구 주위 흐름이 약한 곳(다사, 물금)이나 주위 지천 합류점(부여, 본포)에서 발견된다. 취수구 퇴사문제는 일반적으로 모래하상에서 일어나며 저니문제는 이토하상에서 일어난다. 이러한 점에서 취수구 주위의 이토 퇴적은 상수원 수질관리 측면에서 특히 유의할 사항으로 검토되어야 한다.

충적하천에서 취수하는 부여, 창원, 구미, 다사 등의 경우 취수구 퇴사는 하천의 하상변동과 관련된다. 특히 취수구 주위의 퇴사는 주위 하상전체의 변화보다는 유심부의 평면변화에 따라 진행되며, 충적하천에서 유심부의 변화 원인은 교호사주(alternate bar)의 이동, 하도정비 및 골재채취로 인한 흐름의 양상변화, 취수구 주위에 국부적인 사주의 형성 등을 들 수 있었다. 부여와 본포취수장의 직접적인 퇴사원인은 취수구 주위에 국부적인 사주의 형성이었으며, 구미취수장의 경우는 유로변경이 된 경우로 그 원인은 상류하천의 하도정비 및 골재채취 등 복합적인 이유에 기인하는 것으로 조사되었다.

표 7.1 주요 취수장 개요

취수장	하천	취수원	관리 기관	용도	취수용량 (톤/일)	실취수량 (톤/일)	문제유형 및 정도	위치
부여	금강	하천	수공	광역생·공	300,000	250,000	퇴사,심함	충남 부여군 부여읍
본포	낙동강	하천	수공	광역생·공	285,000	200,000	퇴사,심함	경남 창원군 동면
구미	낙동강	하천	수공	광역생·공	200,000	160,000	퇴사,심함	경북 구미시 고아면
물금	낙동강	하구둑	부산시	생활용수	860,000	780,000	오니/퇴사 약함	경남 양산군 물금면
다사	낙동강	하천	대구시	생활용수	880,000	800,000	퇴사,약함	경북 달성군 다사면
청수	영산강	하구둑	목포시	생활용수	132,000	100,000	오니,약함	전남 무안군 몽탄면
대청	금강	댐	수공	광역생·공	250,000	160,000	오니,약함	충북 청원군 가덕면
예산	삽교천	하천	예산읍	생활용수	25,000	250,000	오니,약함	충남 예산군 예산읍

자료: 한국건설기술연구원, 1993

한편 하상 전체의 퇴적과 세굴은 상류하천의 인위적인 변화에 의해 진행될 수 있으며, 그 대표적인 예가 댐의 축조에 의한 하류하천의 하상변동으로서 상류에 대청댐이 축조된 부여취수장의 경우가 이에 해당한다고 볼 수 있다. 예산취수장의 경우 상류에 예당 저수지가 있으나 축조 연도가 오래되어 하류하상은 안정상태에 있는 것으로 밝혀졌다.

댐이나 하구둑에 의해 형성된 저수지에서 취수하는 것으로는 물금, 청수, 대청, 예산 등이 해당되었다. 이 경우 취수구 퇴사는 저수지 전체의 퇴사와 관련된다. 저수지 퇴사는 상류하천에서의 유사유입량 및 입경분포, 하류 댐 조작 방법, 저수지형태 등에 관련되며 일반적으로 하천의 중·상류에 있는 저수지보다는 하류에 있는 하구둑에서 퇴사율이 높게 나타났다. 대청취수구와 같은 경우 본류 유심부에서 벗어나 저수지 한쪽 구석에 있는 취수구의 경우 퇴사는 유심부보다 훨씬 느리게 진행되며, 이 경우 퇴사재료도 모래보다는 유심부에서 부유되어 저수지 물가로 이동하여 퇴적되는 실트 같은 미립토사가 주종이 되는 것으로 나타났다.

하구둑의 영향이 있는 하천에 설치된 취수장은 궁극적으로 하구둑 퇴사에 의해 영향을 받게 된다. 현재 낙동강 하구둑에 설치된 물금취수장이나 영산강 하구둑에

설치된 청수취수장 모두 이러한 문제가 아직 없는 것으로 보고되었으나, 낙동강 하구둑의 경우 퇴사 진행정도가 처음 하구둑 계획시보다 큰 것으로 알려져 있으므로 장차 취수구 퇴사에 대한 구체적인 검토가 필요한 것으로 사료된다.

금강취수장의 경우 취수장 준공이후 취수구 주위의 퇴사문제로 지속적인 취수장애가 발생해 왔으며, 현재의 원통형 취수구는 사주의 발달로 본류와 함께 수질이 떨어지는 정동천의 물이 취수되어 수질이 저하되고 취수구내로 많은 유사가 유입하여 침사지내의 퇴사처리 문제가 발생되고 있다. 취수 중단사태의 방지를 위한 일환으로 1987년 이후 매년 2회정도 취수구 주변 및 착수정내 퇴사 준설작업을 실시하고 있으나 한시적인 문제 해결이 아닌 취수구 주변의 장기적인 퇴사 및 유사방지 대책의 수립이 요구된다. 뿐만 아니라 퇴사에 의한 저니 오염도를 조사한 결과를 보면 다른 취수장에 비해 장기적으로는 수질에 악영향이 미칠 가능성이 높은 것으로 나타났다. 이와 같은 취수구 퇴사문제는 금강취수장 뿐만 아니라 전국의 여러 취수장에서 나타나는 현상으로 특정 취수장에 대한 검토 뿐만 아니라 일반 취수장 주변에서의 퇴사에 의해 발생하는 침사지내의 퇴사 방지, 취수구 주변 퇴사에 의한 취수장애를 장기적으로 해결할 수 있는 경제적이며, 효과적인 장기 대책방안의 제시가 요구되고 있는 실정이다.

7.3 유사이동 및 조절에 대한 이론적 접근

7.3.1 수치해석적 접근

자연계의 수체에서 토사와 흐름의 상호작용을 예측하기 위한 수치해석적 연구는 일련의 매우 복잡한 문제에 접하게 된다. 토사입자를 움직이게 하고 입자의 계속된 운동을 위한 주요 지배력인 수체의 흐름은 모두 비정상적인 3차원 흐름이다. 흐름에 있어 난류의 영향은 토사입자의 운동에 큰 영향을 미치게 된다. 일반적으로 토사입자는 임의의 형상을 가지고 있는데 수체를 통해 유동하고 흐름과 함께 회전되고 상호작용을 일으킨다.

토사-흐름의 상호작용의 문제에서 토사운동의 시작, 난류구조의 영향 등은 중요하게 다루어야 할 분야이다. 또 다른 분야는 공학적인 예측을 위한 필요성에 대한

반응으로서 광범위한 정량적인 접근법을 채택하여 토사-흐름 상호작용을 기술하는 경험관련식을 전반적인 것으로 이용하는 것이다. 최근에 있어서는 두 개의 서로 다른 연구수행이 상호간의 보완관계로서 수행되어 왔다.

자연수체내에서 토사-흐름 상호작용에 대한 공학적인 예측을 위한 1940년대 및 1950년대의 과정은 전반적인 경험적 접근 방법에 주로 기초하고 있다. 저수지의 유용연한을 평가하기 위한 초기노력들의 대부분은 “포착효율”을 다루고 있는데 이는 저수지에 의해 포착되고 퇴적되는 유입토사량의 일부분으로 정의될 수 있다 (Brune와 Allen, 1941; Churchill, 1948; Karashev, 1966). 이 개념은 공간적인 퇴적양상은 고려되지 않고 퇴적된 토사의 전체 체적만을 평가하는데 유용하였다.

공간적 및 시간적인 퇴적양상을 이해하기 위한 시도는 1950년대 Harison (1952), Bates (1953) 및 Bondurant (1955)에 의해 시작되었다. 이와 같은 노력에 기초하여 경험적 접근법을 사용한 공간적인 퇴적양상을 예측하기 위한 시도가 Cristofano (1953), Borland와 Miller (1958), Hobbs (1969), Swamee와 Gorde (1977), Szechowicz 와 Quereshi(1973)에 의해 이루어졌다.

토사이동과 하상변동과정의 국지적 흐름 특성에 대한 의존성은 존재하여도 적절하게 표현되지는 못하였다. 결과적으로 퇴적양상의 평면적 2차원이나 종단분포는 전혀 예측되지 못하였거나 매우 미숙하게 예측되었을 뿐이었다.

자연수체에서 토사-흐름 상호작용에 대한 수치적 예측은 우선 완전한 과정에 대한 적절한 수학적 수식화를 요구한다. 토사-흐름 상호작용의 과정을 기술하는 방정식은 그 과정의 모든 중요한 면을 통합하고 연결시켜야 하며, 이러한 과정의 특별한 면들의 현재상태에 대한 이해를 반영하여야 하고, 명백히 해석적인 형태를 가져야 한다. 지배방정식의 수치해를 구하기 위한 방법의 선택은 표현된 물리적 과정의 특별한 면들을 이해하는데 기초를 두어야 한다.

지난 십여년은 2차원적 수체흐름, 토사이동 및 하상변동의 예측을 위한 수치적인 과정을 개발하는 시발점이 되었다. Pavlovic 등 (1985)은 2차원 수심평균치를 취한 토사이동과 하천하상 변동을 위한 수치해석 과정을 개발하였다. 수치과정은 난류 부모형을 포함하고 있으며 흐름의 매우 미소한 축척에 대한 예측이 가능하였다. 그러나, 이 과정은 부유사를 평가하기 위해 경험적인 공식을 사용하는데, 부유사의 유체이동과 확산은 무시하였고, 소류사가 고려되기는 하나 두가지의 토사이동간의 상

호작용은 처리하지 못하였다. 이 과정은 또한 토사혼합체의 거동을 적절하게 표현하지는 못하고 있다.

자연적인 수계내에서 토사-흐름 상호작용의 공학적인 예측을 위한 현존하는 과정들은 개념적인 모형에 있어서의 현재의 개발을 완벽하게 반영하지는 못하였다. 예를 들면 동일한 흐름유속에 있어서의 토사입자가 기본적으로 부유상태 또는 도약체적을 따라 하상부근을 매우 느리게 이동하는 소류상태로 이동할 수 있다는 개념은 공학적인 모의를 위해 하나의 해석과정으로 조합되기는 어렵다.

1, 2, 3차원적 토사이동 해석에 대하여 대체로 취수구 주변에서의 유사이동 현상의 규명은 1차원 모형에 의해서는 만족될 수 없으며 2차원적 해석을 필요로 한다. 특히 자연 수체에서의 대부분의 토사이동은 홍수기간 동안에 발생하는데, 이 경우 수체와 토사이동은 매우 비정상적인 특성을 가진다. 상류부에서의 저수지운영이나 하류부의 하구부에서의 조석류는 또한 예측에 대한 비정상적인 특성의 고려를 필요로 한다. 토사-흐름 상호작용의 어떤 실제적인 예측은 차이를 보이는 침전, 장갑화(armouring), 수리학적 분류(sorting)와 같은 자연적인 현상을 통해서 명시되는 토사혼합체의 거동을 고려하여야만 한다. 이들 과정의 완벽한 모의는 수치모형 뿐만 아니라 수리모형을 병행함으로써 자연수체에서의 토사-흐름 상호작용의 2차원적 비정상거동을 예측하기 위한 더욱 새로운 수치적 과정이 수립될 수 있을 것으로 판단된다.

7.3.2 수리학적 접근

하도만곡부에서의 하상세굴의 주된 원인은 흐름의 원심력에 기인하는 2차류이다. 이 2차류를 직접 제어할 수 있다면 안전성이 높은 흐름과 하상형상을 가진 하도를 만드는 것이 가능하다고 알려져있다. 이 방법의 하나로 익판상의 구조물을 하상에 설치하여 흐름방향으로 축을 가진 2차류를 형성시켜 흐름과 유사의 운동방향을 제어하는 Vane공법이 거론된다. 이 Vane공법은 새로운 공법이기 때문에 적절한 설계법이 아직 존재하지 않는 것이 현상상황이다. 이와 같이 설계법이 확립되어 있지 못한 것이 Vane공을 이용한 하안침식대책기술의 발전과 보급의 문제점이 되고 있다.

설계법의 확장을 위해서는 하도 만곡부에서의 홍수류에 의한 하안침식을 경감시

키고 안전한 하도를 만드는 데 유효한 Vane공법에 대해서 그 수리기능을 명확히 하고 Vane공의 설계법을 확립하는 것이 필요하다. 그 때문에 먼저 Vane공의 상이한 배치에 대해서 만곡하도의 흐름과 하상변동을 모형실험에 의해 조사한 후 하안침식·하상세굴과정에서의 흐름과 유사의 현상을 지배하는 2차류에 착안한 흐름과 하상변동의 수리해석 모델의 개발이 뒤따라야한다. 이것을 이용함으로써 원심력에 의한 것과는 역방향의 회전을 가진 Vane공에 기인한 2차류가 하도만곡부 외안근방에서의 하상세굴을 경감시키는 기구를 명확히 하게 되고 이상의 결과를 바탕으로 하안근방의 하상세굴을 방지할 Vane공의 합리적인 배치법 및 설계법이 제안되어야 한다. Vane 공에 대해서는 아직 이상의 여러 연구분야가 필요한 실정이나 모형실험을 통한 그 시공사례와 성공사례가 다소 있으며 계속적인 연구가 이루어지고 있다. 따라서 본절에서는 Vane공에 대한 여러 연구분야들과 참고문헌을 요약 정리하였다.

하천의 만곡부에서는 흐름의 원심력에 기인하여 발생된 2차류에 의해서 외안부근에서는 하상의 세굴이, 내안에서는 토사의 퇴적이 일어난다. 이 외안부근에서의 하상세굴은 하안부근의 유속을 증대시켜 하안침식을 일으키는 원인이 된다. 이것을 막는 새로운 하안침식대책공법으로 만곡부의 2차류 분포를 직접 제어하여 하상의 세굴과 하안의 침식을 경감시키는 Vane공법이 있다. Vane공은 하도만곡부에서 익판상의 구조물을 흐름에 대해 외안으로 향하여 충분히 수몰되도록 하상에 설치하여 Vane공 내안의 퇴적토사를 Vane공 외안으로 수송시키므로써 하도만곡부에 생기는 외안부근의 하상세굴과 내안부근의 토사퇴적을 경감시키는 국소세굴대책공이다.

Vane공에 관한 기왕의 연구 예는 많지 않으나, 계통적으로는 이하에 열거하는 bottom panel에 관한 연구(Chabert and Remillieux, 1965 ; Remillieux, 1972), Iowa 대학 수리연구소에서의 Kennedy, Odgaard 등의 연구(Odgaard and Kennedy, 1982, 1983), 일본토목연구소에서의 淺野 등의 연구(橋本, 淺野, 坂野, 1985a, 1985b), 阿部 등의 연구(阿部, 鈴木, 1985)로 대별된다.

7.4 취수시설 분류 및 유사조절

취수구에 대한 일반적 설계에 대하여 논하려면 먼저 수원, 취수시설의 분류 및 구조, 그리고 취수시설과 관련된 수리현상을 이해하여야 한다. 취수원은 크게 빗물,

하천수, 저류수, 지하수, 해수 등으로 구분되며 본 장의 경우 하천수 및 저류수에 대한 상수도의 취수장으로 국한하였다.

취수시설이란 물을 취수할 목적으로 축조된 물속의 구조물을 의미하며 취수계통이란 강이나 저수지로부터 물을 운반하거나 전환(divert)하는데 필요한 펌프장, 관로, 정수장 등을 포함하는 시설물일체를 의미한다. 소규모 상수 계통에 속하는 취수구란 수중 관로의 취수부분을 보호망을 설치하는 정도로 비교적 간단한 반면, 대규모 상수도계통의 경우 취수탑이나 수중 취수구조물과 수중 도수시설, 스크린, 펌프장, 그리고 경우에 따라서는 화학약품의 살포를 위한 시설물 및 화학약품 보관소 등의 시설도 필요하게 된다. 또한, 하천에 위치한 취수구의 경우 갈수기의 최소 취수수심을 유지하기 위한 수중보 또는 제티(Jetty) 등이 건설되기도 한다.

취수시설은 물의 오염, 홍수, 결빙, 선박의 운항, 저수, 하상의 불안정, 퇴사, 그리고 소류사 등 다양한 자연적, 인위적 위협에 노출되어 있으므로 설계시 이와 같은 위협이 충분히 고려되어 신뢰도가 높은 설계가 이루어져야 한다. 따라서 취수구의 경우 수리적 안전 뿐만 아니라 구조적 안전도도 충분하도록 설계되어야 하며 이와 같은 이유로 경우에 따라서는 취수시설 건설비가 총 정수장 시설 건설비의 20% 이상을 차지하기도 한다.

취수시설의 위치 및 구조는 수리현상은 물론 수위, 현재 및 장래 수요량, 수질의 변화, 기후 조건, 현재와 발생 가능한 수질 오염원, 수생 동물의 보호, 수위의 변화, 선박의 운항, 구조물 기초부 토양상태, 유사 및 소류사, 요구되는 신뢰도, 경제적 조건 등 다양한 인자의 영향을 받으며, 각각의 독특한 주변여건에 따라 설계되어야 하므로 취수시설의 설계는 일반적인 기준이외에는 취수시설별 특징에 따라 검토되어야 한다. 일반적 설계기준은 크게 (1) 수리학적 안정성, (2) 수위의 변동이나 운하의 불안정에 의한 취수중단에 대한 예비책의 수립, (3) 적정 수심에서의 취수가 가능한 시설, (4) 수충, 얼음, 홍수, 부유물, 선박 등으로 부터의 보호시설, (5) 최상의 수질, 오염물질 유입방지 그리고 구조적 안정성을 만족시킬수 있는 위치, (6) 펌프와 처리설비의 보호를 위한 스크린, (7) 각종 설비의 주기적 점검 및 부품교체가 가능한 충분한 공간의 확보, (8) 펌프 및 장비의 교체를 위한 운반 설비, (9) 수생동물의 피해를 최소화 할수 있는 위치 및 설계, (10) 취수구에서의 약품투여가 불가피할 경우 약품투입 설비 및 화학약품의 보관에 필요한 공간확보 등으로 나눌 수 있다.

7.4.1 취수시설의 분류

취수시설은 세계적으로 다양한 형태로 성공적 운영이 이루어지고 있으며 외국(ASCE; 1990, BHRA; 1989, IAHR; 1992)의 취수시설 분류기법에 따르면 취수시설은 취수방법에 따라 취수탑(intake towers), 하안취수(shore intakes), 수중취수(submerged intakes), 흡입취수(suction intakes)로 대별되며 수원에 따라 저수지취수시설과 하천취수시설로 구별된다. 수중 취수시설은 종을 뒤집어 놓은 역종형(inverted bell-mouth) 흡입구를 관로에 연결하고 목재 등을 이용한 크립(crib)을 흡입부의 보호공으로 이용한 시설이다. 흡입취수시설로는 주로 사이펀-정(siphonewell)취수, 현수취수(suspended intakes), 이동취수(movable intakes) 및 부유취수(floating intakes)시설 등이 설치·운영되고 있다. 사이펀-정(siphonewell)취수시설은 하천에 주로 이용되며 하안의 취수구조물과 펌프수조로 구성되어 있다.

상수도시설기준(환경부, 1997)에서는 취수원에 따라 취수시설을 분류하고 있으나(표 7.2 참조) 취수방법에 따른 취수시설의 분류는 기술되어 있지 않다. 상수도시설기준(환경부, 1997)에서 언급하고 있는 취수문은 하안취수시설물의 일부에 불과하며 하천수의 취수시설중의 하나인 취수관거나 호소 및 저수지의 취수시설중의 하나인 취수틀(cric)은 외국의 경우 하천수나 호소수 및 저수에 모두 적용 가능한 하안취수 또는 수중취수에 해당한다. 외국(ASCE; 199, BHRA; 199, IAHR; 199)의 취수시설 분류기법을 종합, 정리하면 표 7.2와 같으며 본 장에서는 취수원별 취수시설에 대하여 취수방법에 따른 분류를 기준으로 각 시설에 대하여 기술하였다.

가. 하천취수

하천 취수시설에는 취수탑취수, 하안취수, 수중취수 및 흡입취수가 모두 가능하며, 특히 하안취수시설은 제방취수(bank intake)와 수로전환유입공(canal diversion headwork)로 나뉜다. 하안취수시설은 주로 대규모의 하천 취수에 자주 이용된다. 제방취수는 제방에 설치하는 취수시설을 말하며 수로전환유입공은 취수를 위한 수로의 분지점에 설치하는 유입공(headwork)으로 유입공의 위치에 따라 측면취수, 전면취수, 저면취수로 나뉘어지고 측면취수는 또 다시 유사조절기법에 따라 배사방식

표 7.2 상수도시설기준(환경부, 1997)에 따른 취수시설의 분류

대분류	중분류	소분류	유사유입방지를 위한 시설기준		비고
			취수구-하상 높이차(m)	취수구 유입 유속(m/sec)	
하천표류수	취수언제(둑) 및 취수댐		0.5~1.0	0.4~0.8	상수도 농업용수
				0.6~1.0	
	취수탑			0.15~0.3	
	취수문			≤ 0.8	
	취수관거			0.6~1.0	물받지 부분
	취수틀			0.15~0.3	*
호소, 저수지	취수탑	고정식		1.0~2.0	
		가동식		1.0~2.0	
	취수문			≤ 0.8	
	취수틀			1.0~2.0	

* 상수도시설기준(환경부, 1997)의 하천표류수 취수시설 비교표에는 기술되어 있지않으나 취수틀에 대한 해설에서는 유입속도를 하천과 호소와 같이 탁도가 적은 수원의 경우로 나누어 설명되어 있음.

표 7.3 외국의 취수방법에 따른 취수시설의 분류

대분류	중분류	소분류	세분류	취수원	
				하천수	호소수 및 저수
취수탑	고정식			○	○
	가동식			○	○
하안취수	제방취수			○	○
	수로전환유입공	측면취수	배사방식	○	X
			추출방식	○	X
			토사방식	○	X
	전면취수		○	X	
저면취수		○	X		
수중취수	역중형관 및 크립			○	○
	취수틀			○	○
흡입취수	사이펀-정취수			○	○
	현수취수			○	○
	이동취수			○	○
	부유취수			○	○

자료 : ASCE(1990), BHRA(1989), IAHR(1992)

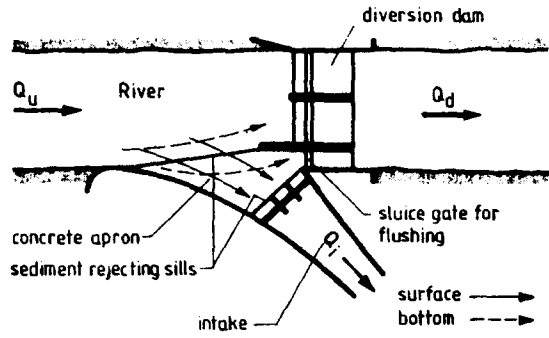


그림 7.1 배사형식의 측면 취수구

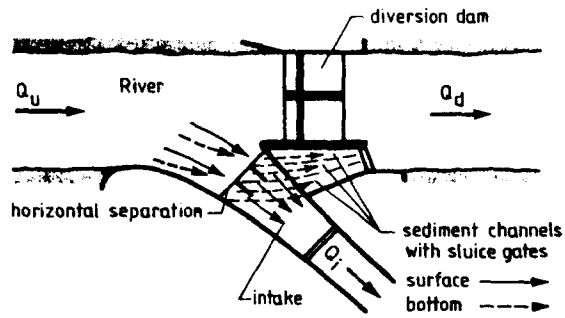


그림 7.2 토사형식의 측면 취수구

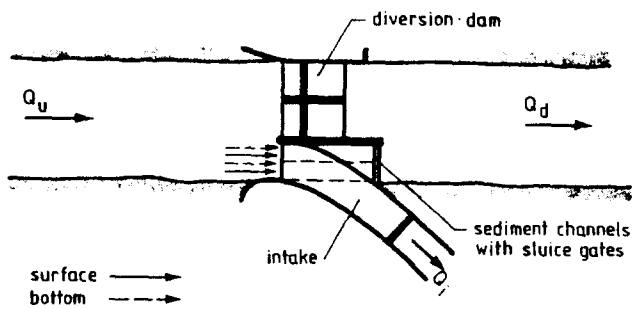


그림 7.3 전면 취수

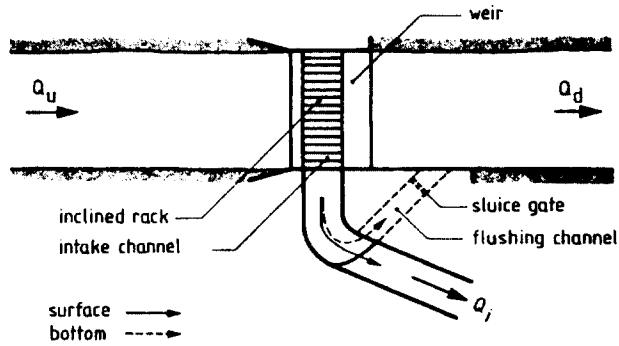


그림 7.4 저면 취수

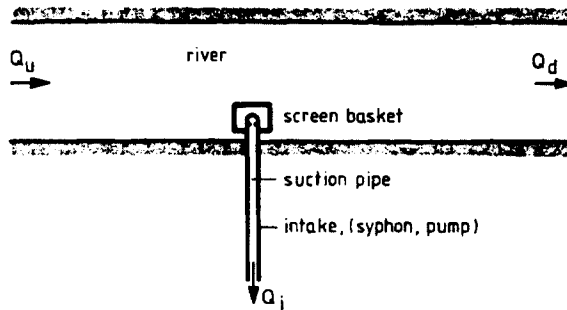


그림 7.5 흡입 취수

(Sediment rejection), 추출방식(Sediment extraction), 그리고 토사방식(Sediment ejector)으로 나뉘어 진다(그림 7.1 ~ 그림 7.5 참조).

수로전환유입공의 방식선정은 총 하천유량(Q_t)과 취수유량(Q_i)의 비와 밀접한 관계가 있으며 이상적인 범위는 다음과 같다.

측면취수(배사방식) : $Q_i < 0.5 Q_t$

측면취수(토사방식) : $Q_i < 0.7 Q_t$

전면취수 : $Q_i < 0.8 Q_t$

흡입취수 : $Q_i < 0.2 Q_t$

취수시설의 취수수심은 부유물이나 조각얼음도 충분히 감안하여 취수수심을 결정해야 한다. 최저수위는 일반적으로 겨울에 발생되며 우리나라의 경우 겨울에는 하천이 결빙되어 조각얼음이 취수에 악영향을 미칠 수 있으며 이와 같은 최소수심의 확보가 불가능 할 경우 자동 토사기능을 가진 얕은 댐의 건설이 고려되어야 한다.

대부분 하천의 경우 많은 부류사 및 하상을 따라 소류사가 이송된다. 따라서 취수시설은 부류사나 소류사에 의하여 취수구가 막히지 않도록 설계되어야 한다. 뿐만 아니라 이와 같은 유사는 펌프 및 정수 기계설비의 심각한 마모를 유발하게 된다. 이와 같은 퇴사방지를 위해서 수제와 같은 수공구조물을 이용하여 취수시설을 통과하는 하천의 주 흐름방향을 바꾸기도 한다.

깊은 수심의 하천으로부터 취수할 경우 취수수심의 변경이 용이하도록 수문이 부착된 흡입구를 설계한다. 유효 취수수심이 문제가 되는 대부분의 하천취수의 경우 흡입구를 가능한한 낮은 곳에 설치하여야 하나 흡입구는 하상으로부터 최소 0.3~0.6 m 이상을 유지하여 점토, 모래 자갈 등의 퇴적으로 인한 흡입구 막힘현상을 방지하여야 하고 조각얼음이나 부유물의 흡입을 방지할 수 있도록 흡입구의 평균 유속이 0.3 m/sec 이상을 넘지 않도록 하여야 한다. 얼음의 위험이 적은 경우 이보다 다소 높은 흡입유속도 가능하나 얼음이 많은 곳에서는 0.15 m/sec 이하의 흡입유속을 유지하도록 설계되어야 한다.

제진격자와 스크린은 강물에 존재하는 고형 부유물로 부터 펌프를 보호하는데 필수적이다. 제진격자의 경우 통상 13~19 mm 강봉을 25~75 mm 간격으로 설치하며 개구부의 유속이 0.6 m/sec 를 초과해서는 안된다. 스크린은 제진격자를 통과한 보다 작은 고형물의 제거를 위하여 설치되며 대규모 취수시설의 경우 젤을 이용한 스크린 세척기법이 일반적으로 도입되고 있다. 스크린의 개구부의 유속 또한 최대유량이 흡입될 경우 0.6 m/sec 를 초과해서는 안된다. 고정식 스크린의 경우 개구부의 유속이 0.18 m/sec 를 초과하지 않도록 권장하고 있다.

나. 저수지 취수시설

저수지 취수시설로서는 취수탑이 일반적으로 이용되며 보통 가장 깊은 곳에 설

치한다. 흡입구 부분은 성층류(stratified flow)에 의한 수질의 변화에 대처할 수 있도록 취수 수심의 변경이 용이하도록 설계한다. 하천에 취수탑을 설치하는 경우도 있으며 이때는 취수탑으로부터 하안에 위치한 펌프장까지 도수할 수 있는 도수관을 설치하게 된다. 취수탑은 신뢰도, 취수 수심의 변경 용이성 등의 장점이 있으나 건설비가 비싼 단점을 가지고 있다. 저수지 취수시설은 일반적으로 취수탑과 수중 취수시설로 구성된다. 수중 취수시설은 일반적으로 선박운항이나 얼음에 의한 취수장애를 받지 않으며 건설비도 저렴하다.

유사와 얼음 등의 영향을 최소화 시키기 위하여 가능하다면 수중 취수시설은 수심이 15m 이상인 지점을 택하는 것이 바람직하다. 호안의 수심이 얕은 저수지나 호수의 경우는 이와같은 수심을 확보하기 위하여 호안으로 부터 멀리 떨어진 곳에 취수시설을 설치하여야 하기 때문에 수중 도수관로의 연장이 길어지는 경우가 발생한다.

취수탑을 이용하여 깊은 수심의 호수로부터 취수할 경우 수질여건에 따라 다양한 수심으로 부터 취수가 가능하도록 수문이 부착된 흡입구를 설계한다. 일반적으로 흡입구는 하상으로부터 최소 0.3~1.8 m 이상을 유지하여 하상도 퇴적에 의한 유입구 막힘현상을 방지하여야 하며 하천 취수시설과 마찬가지로 흡입구의 평균 유속은 0.3 m/sec 또는 그 이하를 유지하도록 하며 유사 퇴적과 얼음에 의한 취수장애를 방지하기 위해서는 흡입구의 유속은 0.15 m/sec 이하가 되도록 설계하며 더욱 바람직한 흡입유속은 0.06~0.1 m/sec 정도다. 크립(crib)을 이용한 취수시설을 설계할 경우 크립의 입구에서의 유속은 약 0.08 m/sec 정도로 모든 방향으로 부터의 유입속도가 일정하도록 설치하는 것이 이상적이다.

7.4.2 유사조절 기법

유사조절이란 적용되는 여러분야별 특성에 따라 다양하며 크게는 (1) 유역이나 하천의 토양 침식방지와 (2) 하도, 저수지, 해안 등의 유사조절로 나눌 수 있다. 과거 유역의 침식방지는 로마나 그리이스 공학자들에 의하여 산림의 파괴와 해안의 유사퇴적량이 상관성이 있다는 사실과 중세 이후의 이태리 공학자들이 북 이태리에서 홍수에 의한 충격 및 퇴사문제에 관심을 가지면서 시작되었으며 유역의 토양침

식 조절에 대해서는 유역면적 1,000 km² 이내에 속한 판상침식(sheet erosion), 세류(rills), 구곡(gully), 또는 하도(fluvial channel)에 대한 침식 방지기법으로 대별되나 본 장에서는 최근의 유역보호, 관리 및 개발기법에 대한 제목만 간략히 소개하였다.

- ① 유역 침식방지를 위한 토양처리기법
 - 식생 처리기법
 - 기존의 피복식생, 삼림, 초지 보호기법
 - 역학적 농지의 보호
- ② 유사조절 저수지 설치
- ③ 하천의 개량 및 안정화
- ④ 부유물 침전지
- ⑤ 각종 구조물의 개선

하도, 저수지, 해안 등의 유사조절의 경우 하도란 침식성 하천만을 의미하며 하천의 유사조절은 수리적 이론보다는 하천별 특성에 따라 더 많이 좌우된다. 하천과 관련되어 자주 부딪히는 문제는 기존의 하천을 어떻게 관리, 개선할 수 있는가 하는 문제이며 다음 단계로는 안정하도를 이루기 위한 하도의 규모를 결정하는 일이다.

가. 하도 조절

하도조절은 단순히 하상이나 제방의 침식방지 뿐만 아니라 하도의 노선, 하폭, 하상의 안정화 등을 포함한 통수능의 극대화, 최적수심의 유지, 하상형태의 개량 등을 목적으로 한다. 실제 하도조절은 통상 특정하천에 대한 경제성 및 적용 편의성 등에 의해 결정되며 일반적으로 제방의 침식을 억제할 수 있으면 하도조절이 이루어진 것으로 간주한다.

(1) 하도 노선

하도노선의 주요 조건은 하도의 부드러운 만곡이며 지나치게 급하거나 완만한 정도가 심한 만곡부, 변류점 및 초승달 만곡부가 없도록 해야한다(그림 7.6 참조).

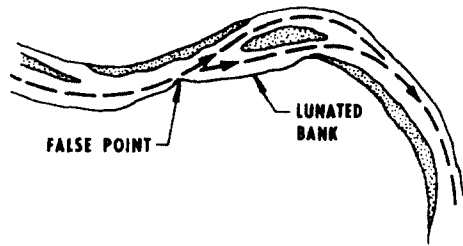


그림 7.6 변류점(False Point)과 초승달 만곡부(Lunated Bend)

하도노선조절은 기존의 사행 형태와 전체적 하상 기울기, 하천길이를 유지하는 범위에서 하도노선의 조절이 이루어져야 한다. 비록 자연수로 구간이 직선으로 이루어져 있다 하더라도 수로구간의 직선형태는 피해야 한다. 수로의 직선화에 따른 결과에 대한 충분한 이해와 그 결과를 수용할 수 있을 경우를 제외하고는 어떠한 경우라도 수로의 직선화는 피하는 것이 바람직하다. 사행의 규모는 하천 횡단면 형태 결정에 결정적 인자가 된다. 사행이 심할 경우 하천은 곡류부의 바깥 제방쪽으로 좁은 하천을 유발하며 따라서 수류가 바깥쪽 제방에 부딪히게 된다. 반대로 지나치게 완만한 사행은 넓고 얕은 하천 횡단면을 유발해 하상이 불안정하게 만든다. 최적 곡률반경의 사행은 하천을 직사각형 수로에 가깝도록 하며 유지관리의 노력을 최소화시킬 수 있다 (그림 7.7 참조).

곡류부와 관련한 현대의 공학적 지식으로는 유사한 하천의 사행 곡률반경을 비교하여 가장 안정적인 하상을 유지하는 하도의 곡률반경을 이용하여 설계하는 것이 바람직하다. ASCE(1975)의 곡률반경에 대한 참고문헌 조사에 따르면 Inglis는 사행길이 ML 과 유량과는 다음 식 7.1과 같은 관계가 있다고 발표하였다.

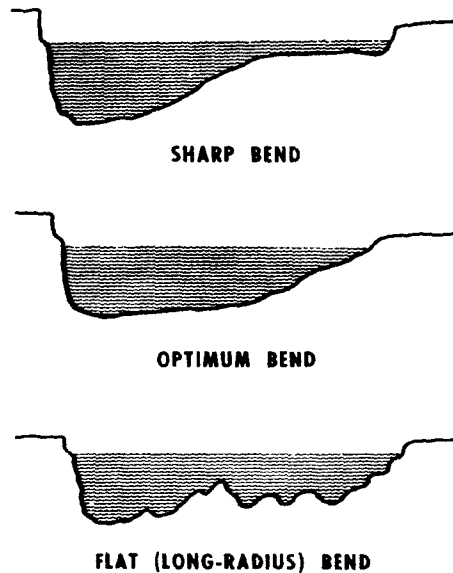


그림 7.7 곡률반경에 따른 하천의 횡단면

$$ML = 28Q^{1/2} \quad (7.1)$$

여기서, Q ; 최대유량(cfs),

ML ; 사행길이(ft) 이다.

Bagnold는 최적 곡률반경(R)과 하도폭(b)과의 비 R/b 가 2~3 일때가 최적의 곡률반경이라고 하였다.

미국의 Missori강의 경우 R/b = 10~20 일 경우 유지관리가 가장 쉬웠으며, R/b = 6 을 유지하기는 대단히 어려웠다.

또한 Rzhanitsyn에 의하면 유럽 하천의 경우 R / b = 10~14 일 때 사행구간에 대한 하도의 최고수심과 하도폭의 비는 일정하며 R / b 가 감소하면 하도는 좁아지며 수심이 깊어지고 R / b 가 커지면 수심이 얕아지면서 모래사주가 곡류부에 불규칙하게 형성된다.

(2) 입사각

수류가 곡류부로 유입되는 입사각(주 흐름의 방향과 곡류부의 접선이 이루는 각도)은 일반적으로 최대 15° 이내가 되도록하며 아무리 극단적인 경우라도 25° 이상이 되어서는 곤란하다. 그 이상이 되면 유지관리가 기하급수적으로 어려워지며 45°에 달하면 흐름은 반사되어 하류부분에 불규칙한 사행의 발달을 초래하게 된다.

(3) 하도폭

최적의 하도폭은 저수위에 해당하는 유량 유하시 하도에 사주를 발생시키지 않는 최대폭으로 정의할 수 있다. 이동상 하천의 경우 주어진 유사와 유량에 대하여 하상에 사구(Dune)가 발생하는 하도폭이 되면 바람직하며 그 이상 또는 그 이하가 되면 하상의 퇴적 또는 세굴이 진행된다.

(4) 하도조절 구조물

하도조절 구조물은 크게 두가지로 분류할 수 있다. 첫째는 기존 제방의 침식을 방지할 수 있는 구조물이며, 둘째는 흐름을 유도하여 원하는 위치에 유사 퇴적을 유발시키는 구조물이다.

많은 경우 이 두가지의 구조물은 혼용하여 사용되기도 하며 동일 구조물이 다른 목적으로 쓰이기도 한다. 호안공 (Rivetment), 피복호안 (Blanket Revetment), 투수성호안 (Pervious Rivetment), Jacks, 투수성장벽 (Pervious Fence), 수제공 (Groin), 석재수제 (Rock Windrow) 등이 있다. 이들 구조물에 대한 상세한 설명은 ASCE(1975)나 건설부(1993) 또는 하천공학 교과서 등에 자세히 기술되어 있으므로 본 장에는 더 이상 기술하지 않기로 한다.

(5) 도류구조물 (Training Structures)

도류구조물은 그림 7.8에서와 같이 유효하도의 세굴을 유도하고 원하는 하도노선을 유지시켜주는 흐름을 유도하는 목적을 가지며 통상, 불투수성 구조물보다는 투수성 구조물이 많이 활용된다. 투수성 구조물은 흐름을 강제로 변경시키기 보다는 자연스럽게 난류를 유발시켜 흐름방향의 변화를 유도할 뿐만 아니라 투수성 구조물 하류측에 유사 퇴적을 유도하기 때문이다. 수심이 3m 이상인 경우 목재기둥제방

(Timber Pile Dike)이 경제적인 것으로 알려져 있다.

이러한 하도조절 및 도류구조물의 설치에 있어 설치가 요구되는 시점부터 설치하는 것보다 상류지점부터 연속적으로 설치하는 것이 구조물의 안정성을 높이는 방법이다. 입사각 조절을 위한 구조물 설치시에도 흐름과 평행한 지점부터 구조물을 설치하여 흐름의 방향변화를 서서히 유도해 주는 것이 바람직하다. 도류구조물은 계획 하도노선을 따라 배열하며 연속적으로 설치할 필요는 없으나 계획 하도노선 총연장의 2/3 이상 되도록 하여야 한다.

(6) 협수로(Chute) 또는 2차하도의 폐쇄

2차 하도의 폐쇄, 주하도의 흐름을 2차 하도로 변경, 또는 유도 협수로 (Pilot Cut)를 통한 흐름방향의 전환이 빈번히 요구된다. 이러한 흐름의 변환은 고�형 차수 제방 (Solid Closure Dike)을 이용하기도 하나 협수로는 유사로 인하여 완전히 폐쇄되지 않았다면 권장할만한 방법은 아니다. 하도를 따라 발생되어야 할 총수두손실이 폐쇄지점에 집중적으로 발생되어 월류시 심한 세굴이 발생되기 때문이다. 따라서 도류구조물이나 하도의 조도계수를 높일 수 있는 시설을 막고자 하는 하도에 설치하거나 하도내 대부분의 유사를 폐쇄하고자 하는 하도로 전환시키는 구조물을 설치하는 것이 바람직하다 (그림 7.9 참조).

(7) 총적수로와 하상저하 수로

총적수로란 유입유사량이 유출유사량보다 과다하여 수로의 일정구간에 유사가 퇴적되는 수로를 의미하며 하상저하수로란 총적수로의 반대어에 해당한다. 총적수로는 유입유사량을 감소시키거나 하도의 유사이송 능력을 증가시켜 안정하도로 만들 수 있다. 소유역 하도의 경우 토양침식 방지책을 적용하여 유입유사량을 저감할 수 있다. 대유역 하도의 경우 하도의 하상상승에 영향을 미칠 수 있는 유사는 이미 원 토양으로부터 침식되어 본류에 유입되었거나 지류를 통해 유입될 것이므로 토양 침식 방지기법보다 하천이나 지류에 유사차단 저수지 설치가 효과적이다.

하상저하수로의 경우 상류에 유량조절용 저수지를 단독 또는 연속적으로 설치하여 유사이송능력을 감소시키는 방법이 있다. 통상 제방 침식방지 구조물과 함께 구간별 유사이송 능력이 형평을 이룰 수 있도록 턱(Sill)이나 낙하(Drop)구조물을 단

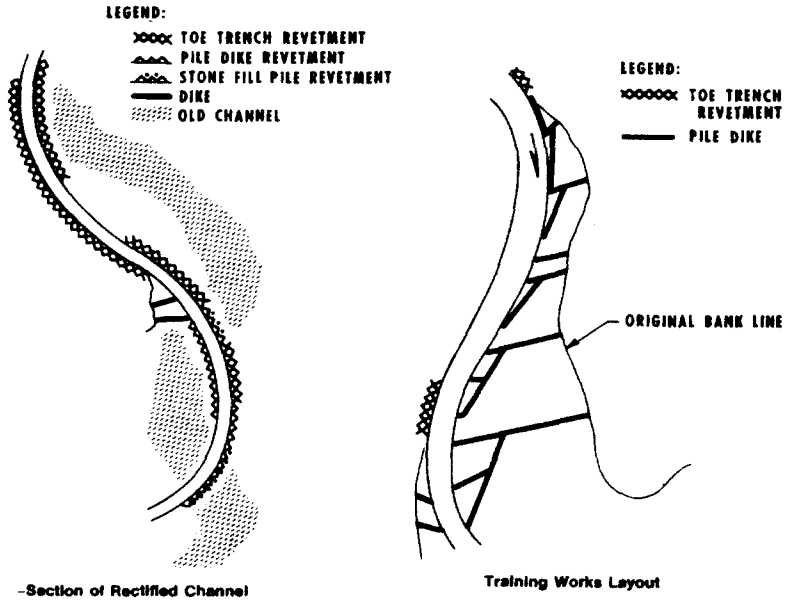


그림 7.8 하도조정 및 도류공 설치 예

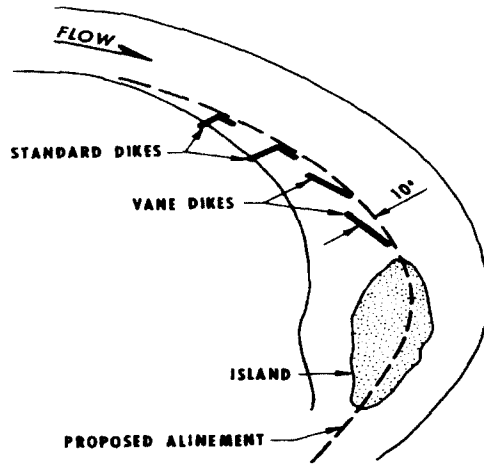


그림 7.9 베인을 이용한 협수로(Chute) 폐쇄

독 또는 연속적으로 설치하는 기법이 있으며 단독구조물의 설치는 일반적으로 권장되지 않는다.

나. 운하 (Canals)

유사의 운하내 퇴적으로 인한 통수능의 감소나 유지관리비의 상승으로 인하여 자연 하도를 따라 이송되는 유사의 운하(Canal) 유입은 설계자에게는 중요한 설계 인자로 작용하기도 한다. 따라서 운하 전환유입구 부분에서 운하로의 유사유입을 최소화하고 운하내 흐름을 조절하여 유입된 유사가 퇴적되지 않도록 하는 기법을 포함하여 다음과 같은 세가지 해결방안이 있으며 일반적으로 세번째 기법이 가장 보편적으로 활용된다.

- ① 물만이 운하로 유입되고 유사는 자연하도로 반송시키는 기법.
- ② 운하내 유사 퇴적이 최소화 되도록 운하의 수리적 특성을 조절하는 기법.
- ③ 취수구로의 유사유입을 최소화하고 유입된 유사는 가장 경제적인 방법으로 회수하는 기법.

유사 조절기법은 조절이 필요한 유사량과 유사의 종류 그리고 운하의 하상 및 측벽의 구성재질에 따라 달라진다. 대부분의 운하는 수리학적 경험과 판단에 따라 설계되나 유사이송 요인과 하상형태를 고려한 새로운 운하설계법이 도입되고 있는 실정이다.

(1) 취수지점의 선정

유사는 일반적으로 소류사와 부유사로 구별되며 부유사는 통상 실트질이나 점토질의 세립자로 구성되어 있다. 부유사는 실트나 점토질부터 굵은 모래까지 입자의 크기가 다양하며 소류사는 보다 굵은 입자로 구성되어 있고 하상으로부터 수면으로 갈수록 입자의 크기와 농도가 감소하는 경향을 나타낸다. 수직방향의 유사 입도분포와 크기변화는 취수시설 설계자에게는 대단히 중요한 인자가 된다. 뿐만 아니라 유사유입을 최소화하기 위해 어떤 지점에 취수구를 설치할 것인가는 대단히 중요한 인자이다. 일반적으로 최적의 취수구 위치는 곡류부의 바깥쪽으로 알려져 있으며 하상의 유향은 곡류부 바깥으로부터 안쪽을 향하고 수면의 유향은 곡류부 안쪽으로부터 바깥쪽으로 향하는 곡류부의 수리적 특성을 고려하면 비교적 무겁고 큰 유사는 하상을 따라 이송되므로 곡류부 바깥쪽에 취수구를 설치하는 이유가 타당하다. 이같은 영향은 나선형 흐름에 기인하며 Thompson(1876)이 제창한 이후 많은 연구

자들에 의해 확인되었다.

(2) 수로전환(Diversion)의 각도

앞에서 설명한 바와 같이 수면에서의 빠른 유속으로 인하여 유향의 변경에 하상보다 더 큰힘이 필요하게 된다. 따라서 수면의 흐름은 하상에 비하여 더 강한 운동량을 가지고 있어 본류 흐름방향을 따라 더 오랫동안 흐르게 되고 많은 유사를 포함하고 있는 하상의 흐름은 수면에 비해 빨리 전환수로로 흐름방향이 바뀌게 된다. 또한 전환수로로 방향을 바꾼 많은 유사량을 포함하고 있는 하상부근의 흐름은 수로의 분기점 벽면에서 흐름이 박리되는 현상이 발생되어 곡류부 안쪽에 많은 유사를 퇴적시키게 된다. 본류와 지류가 이루는 각도가 클 수록 분기점에서 수류의 박리현상이 심하게 되므로 본류와 지류의 각도가 90° 를 이루는 것이 바람직하지 못하나 지류가 터널로 이루어져 있는 경우 90° 로 설계되는 경우도 흔히 볼 수 있다.

수로전환의 최적 각도는 전환 유량비가 감소할 수록 증가한다. 또한 주어진 전환 각도에 따라 최적 전환유량비는 총유량에 따라 달라지므로 보편적인 설계기준은 없고 최적조건은 실험에 의존할 수 밖에 없는 실정이다. 여러가지 이유로 최적 전환 각도의 산정을 위한 모형실험이 곤란한 경우 $30\sim 45^\circ$ 가 권장된다.

다. 저수지

하도를 가로막는 댐이 건설되면 저수지로의 유입속도는 저하하게 되며 따라서 상류로부터의 유입유사는 댐 건설로 인한 배수영향 시작구간부터 퇴사가 시작되어 저수지에서도 퇴적이 발생하게 된다. 최근에는 대규모 저수지의 경우 100년 동안 퇴적될 유사량을 감안하여 유효 저수량을 산정, 댐을 설계하는 것이 일반화되어 있다. 저수지로 유입되는 유사는 대부분 토양 침식을 통해 유발되며 순간적으로 많은 유사유입이 발생되기 보다는 서서히 유사유입이 이루어진다. 상류로부터의 유사유입량과 댐이나 저수지에 퇴적되어 하류로 이송되지 못하는 유사량의 비를 포착율이라 한다. 국내 저수지의 포착율에 대한 연구는 건설부(1992.a) 자료에 자세히 기술되어 있으며 본 연구의 범위를 벗어나므로 본 절에서는 기술하지 않기로 한다.

저수지내 퇴적으로 인해 발생하는 문제는 우선 저수용량의 감소를 지적할 수 있

다. 세립자의 퇴적은 하상에 있는 생물군을 덮어버려 수생동물의 부화를 방해할 뿐만 아니라 세립자에 의한 탁도유발도 물고기의 먹이가 되는 미생물의 성장을 억제하여 먹이사슬 파괴로 저수지의 동물상군의 파괴현상도 일어난다. 배수영향 구간의 퇴적은 하상상승을 유발하여 홍수위 상승과 홍수범람을 유발하기도 한다. 또한 저수지의 퇴사는 하상을 상승시켜 취수구를 통한 유사유입을 가속시키므로 원천적인 취수구 유사유입 저감기법의 검토에 저수지로의 유사유입 저감기법도 검토되어야 하나 원래의 본 연구목적에서 다소 벗어나므로 저수지로의 유사유입 방지 및 저감 기법에 대해서는 간략히 기술하였다.

(1) 토양보존

유역면적이 2.6~5.2km²인 경우 유역의 토양보존기법을 이용하면 유사유입을 95%까지 감소시킬 수 있다. 또한 홍수도달을 지연시키는 구조물의 설치로 유사량이 48~61%까지 유사유입량이 저감된 사례도 보고되었다(ASCE, 1975).

(2) 바람에 의한 침식방지

건조지대의 경우 바람에 의한 토양의 침식이 심각하며 따라서 토양에 바람의 속도를 줄일 수 있는 각종 구조물의 설치와 식생피복 등의 기법을 사용하여 침식을 억제하는 기법이 있다.

(3) 침전지역 조절

비교적 저수지의 규모가 작을 경우 흐름이 저수지 전체로 골고루 분산될 수 있도록 저수지 입구하상 부분에 여러개의 작은 하도를 건설하여 퇴적범위를 넓게 유도하는 기법이다.

(4) 유사 포착지

유역 상류지역에 유사포착을 목적으로 하는 소규모의 유사 포착지를 건설하여 저수지로의 유사유입을 억제하며 유사포착지는 2~3년 주기로 준설하여 계속적으로 제 기능을 할 수 있도록 한다.

7.4.3 유사 조절기능을 포함한 취수구의 설계

유사량중 부유사와 소류사량이 차지하는 비율에 따라 유사 유입저감 기법은 달라진다. 소류사제거는 부유사 조절에 비하여 쉬운 편이다.

부유사 제거는 침사지를 이용하는 방법이 현실성 있는 유일한 방법이며 약품 투입에 의한 입자의 침강을 유도하는 기법도 있으나 경제성 때문에 보편화되지는 않고 있다. 침사지는 장방형과 원형 및 와류타입이 있고 입자의 크기는 0.06 mm 이상인 경우에 효과적이다. 그림 7.10은 부유사 조절기법중 침사지 형태 및 위치에 대한 일반적인 개념도이다.

소류사 제거기법은 크게 배사방식(Sediment Rejection)과 토사방식(Sediment Ejection) 그리고 추출방식 (Sediment Extraction)의 3가지 형태로 구분된다. 배사방식 (Sediment Rejection)은 전환유입공(Diversion headwork)으로 유사가 유입 되기 전에 배제하는 방식이며 토사방식(Sediment Ejection)은 일단 전환유입공으로 유사의 유입을 허용한 후 제거하는 방식이다. 현재까지 알려진 바로는 가장 신뢰성 있는 유사유입 저감을 고려한 취수구의 설계는 수리모형 실험에 의한 것이다. 유사에 대한 모형실험의 난이도 때문에 실제 유사조절 정도는 정량적인 실험이 이루어질 수 없으며, 실험 결과에 따라 정성적인 기준으로 취수구 설계를 하게 된다.

가. 침사지

유사의 대부분이 부유사의 형태로 존재할 경우 부유사가 가라앉을 수 있도록 충분한 저류시간을 유지하는 침사지를 설치하여 부유사를 제거한 후 취수하는 것이 현재까지 알려진 가장 효과적인 부유사 제거기법이다. 침사지내 유속 및 입자의 크기에 따라 각 입자에 대한 침전률 산정이 가능하며 침사지내 유속이 0.2 m/sec 이하의 경우 실트, 점토, 모래제거에 우수한 결과를 보여준다.

나. 수로전환 유입공 (Canal Diversion Headwork)

수로전환 유입공의 네 가지 형태에 대해서는 이미 소개되었으며 본 절에서는 각

유입공 형태별 유사조절기법에 대하여 기술하였다.

(1) 측면 취수(Lateral Intake)

소류사 조절기법으로는 배사형식, 토사형식, 그리고 추출형식이 있다. 각 형식에 대한 도해적 개념도는 그림 7.11에 소개되어 있다. 배사형식은 턱(Sill), 도수벽(Guide Wall), 2차 흐름 등을 이용하여 유사를 취수유입공 입구에서 배사수로로 이송시켜 하류로 플러싱(Flushing)시키는 형식이며 토사형식은 유사와 물을 취수유입공을 통과시킨 후 흐름을 수평분리시켜 유사농도가 높은 하상부분의 물을 하류로 되돌리는 형식이다. 배사형식의 경우 취수유입공 입구에 반사턱(Flexion Sill)을 설치하게 되는데, 높이가 너무 높으면 취수부의 유속이 빨라져 퇴적유사가 재부유되는 경우가 생기며 너무 낮을 경우 제 기능을 하지 못하는 경우가 발생되므로 높이 선정에 각별한 주의가 요망된다.

(2) 전면 취수(Frontal Intake)

유사와 물을 취수유입공을 통과시킨 후 하류에서 유사를 분리하는 형식이다. 측면취수와는 반대로 2차 흐름의 유발을 최대한 억제하여 흐름을 수평분리시켜 유사농도가 높은 하상부분의 물을 하류로 되돌리는 형식이다.

(3) 저면 취수(Bottom Intake)

제진격자(Rack)를 설치하여 큰돌들이 취수되지 않도록 제거한 후 여과되지 않은 유사를 제거할 수 있는 침전지나 다른 기법을 도입한 것이다. 제진망은 하류로 약 10~30° 정도 기울어진 것이 좋으며 제진격자의 봉 굵기와 봉간 순간격의 비는 2:1~3:1 정도가 바람직하다.

다. 도류벽(Training Wall)과 둑(Bank)

미국 미조리유역의 Solomon강에 위치한 Woodstone 전환수로담에 대한 예이다. 운하의 유입공(Headwork)은 1.5m의 수로폭과 3m 높이의 휘어진 도류벽으로 구성되어 있다. 유입공 입구의 휘어진 도류벽은 인위적으로 나선형 수류를 형성시켜 소

류사를 곡류수로부로부터 유도하여 유입수문(Headgate)을 통해 2.4~3 m/sec 유속을 유지시키면서 유출되도록 설계하였다. 2.4~3 m/sec의 유속은 곡류부 수로내의 퇴사를 방지하는 효과가 있었다. 단면 B-B 에서 보는 바와 같이 전환수로의 하상을 곡류수로보다 높게 설정하고 끝단에 돌출부를 만들었다. 관례에 따른 유입공 설계 후 모형실험을 실시한 결과 유입수문을 통과하는 유사량(Q_h)과 전환공을 거쳐 전환수로로 유입되는 유사량(Q_s)의 비 Q_s/Q_h 는 0.51 이었으나 수리모형실험을 통한 취수공 개선결과이 비는 4.76이 되어 유사 제거효과가 원설계에 비해 무려 9.33배나 향상되었다.

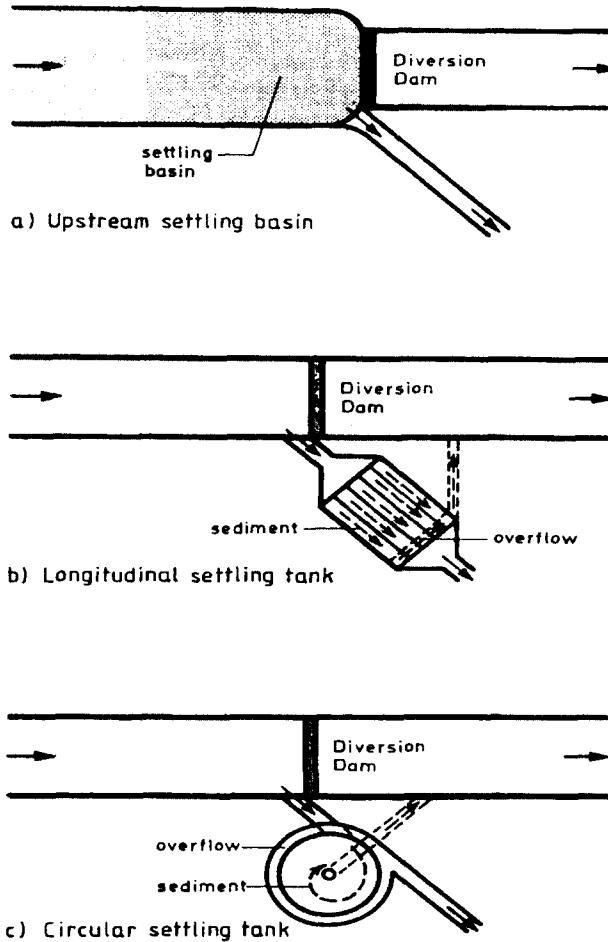


그림 7.10 침사지 형식 및 위치도

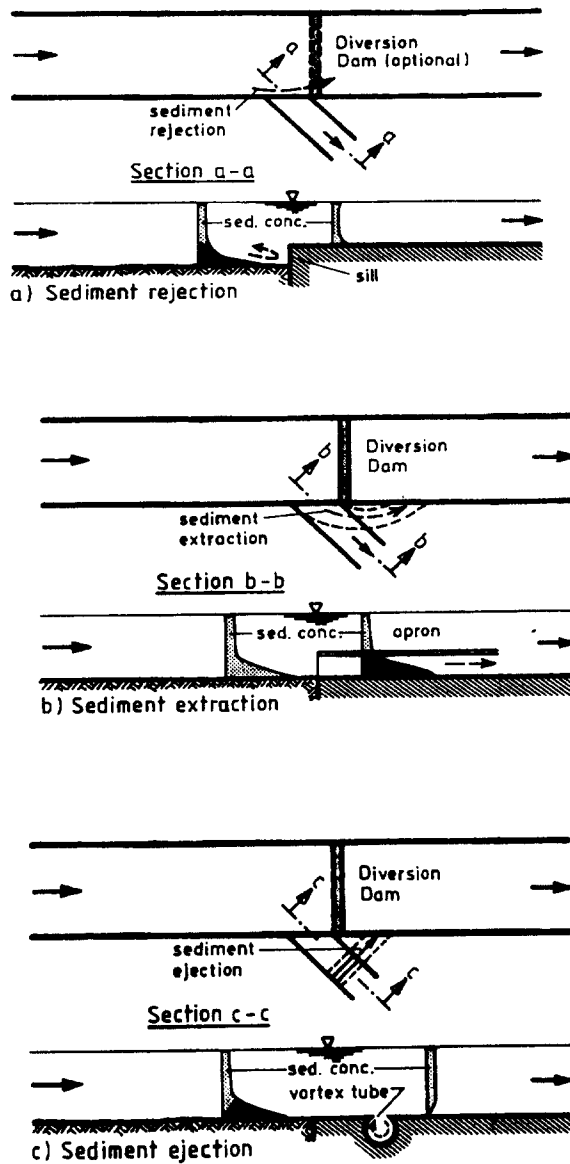


그림 7.11 소류사 조절 기법

Kotri 댐은 유도제방 (Guide Bank)과 하도 중앙의 섬을 이용하여 유사를 조절한 예이다. 하도 중앙의 섬을 이용하여 댐을 두 개의 부분으로 나누어 설계했으며 각 부분은 오목한 곡선부를 최대한 활용하도록 하였다. 이러한 설계는 R.B. Feeder와 Pinyari Feeder에서의 유사제거에는 대단히 좋은 효과를 보였으나 Fuleli Canal

의 경우 만족스러운 설계가 되지 못하였다. 그 이유는 Fuleli Canal이 유입 취수공으로부터 너무 상류에 위치하여 곡선하도의 장점을 살릴 수 없었기 때문이다. Fuleli Canal로 유입되는 유사량을 감소시키기 위하여 유도벽을 연장시키고 좌안 유도수로의 곡률반경을 변경하였으며 하도 중앙섬의 곡률 또한 조정하고 수중 배인을 설치하였으나 큰 효과를 보지 못했다. 결국 Fuleli Canal의 취수유입공을 하류의 Pinyari Feeder 쪽으로 옮겨 건설하기로 하였다. 이 예로부터 취수구의 위치는 곡류부를 어느정도 통과하여 나선형 수류가 완전히 발달한 지점에 설치해야만 유사조절의 효과를 얻을 수 있다는 사실이 입증되었다. 따라서 최적의 취수구 위치선정은 각 현장마다의 특성이 반영된 모형실험을 거쳐 결정되어야 한다는 것이다. 실험이 불가능할 경우 전환수로유입공의 위치는 곡류부의 시점으로부터 곡류부 길이의 2/3~3/4 지점에 건설하는 것이 이상적이다.

라. 분리벽(Divider Wall)과 포켓(Pocket)

전환수로 상류에 분리벽을 설치하여 취수유입공 월류부와 분리벽 사이의 주변에 비해 유속이 낮은 포켓을 형성시켰다. 주하도의 월류부를 통하여 방류되는 동안 유속이 느린 포켓부에서 유사가 퇴적되도록 유도하고 월류되지 않을 때에는 배사수로의 수문을 열어 포켓부의 퇴사를 방류시킨다. 포켓부 최적폭과 깊이는 모형실험을 통하여 결정한다.

마. 유도 배인 (Guide Vanes)

그림 7.12는 국부적인 나선형 흐름을 유발시켜 곡류부의 자연하도와 동일한 흐름 효과를 얻을 수 있는 유도배인의 개념도이다. 유도배인에는 하상 유도배인과 수면 유도배인의 두가지 배인이 있다. 하상 유도배인은 유사농도가 높은 하상부의 흐름을 유입취수공으로부터 멀어지도록 유도하여 유사를 배제하는 방식이며 수면 유도배인은 유사농도가 적은 수면부의 흐름을 유입 취수공으로 유도하는 방식이다. 현재 인도, 소련 미국 등 세계 각국에서 배인에 대한 연구가 진행되고 있으며 특히 미국의 Iowa대학에서 활발히 진행중이다.

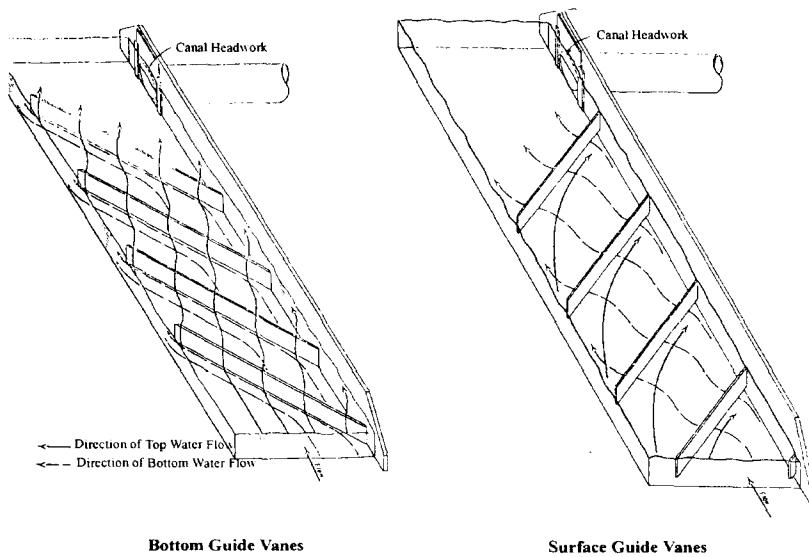


그림 7.12 유도베인을 이용한 유사조절 개념도

바. 토사방식 (Sediment Ejector)

어떠한 형식의 수로 전환 유입공이 이용되더라도 약간의 유사는 운하로 유입된다. 따라서 구조물에 의한 와의 발생에 따라 부유사 형태로 운하로 유입된 유사는 퇴적된다. 점토와 같은 유사는 농작물에 악영향을 미치므로 일반적으로 제거시켜야 하며 이러한 제거기법으로 유사배출장치가 이용된다. 유사배출장치에는 터널형식과 와류형식이 있다.

(1) 터널형 유사배출장치

터널형식은 유입부 바닥에 유입수심의 약 20 - 25% 정도의 높이를 가진 터널을 만들고 터널과 수로를 상하로 연결하는 구멍을 만들어 유입수로 하상으로 이송되던 유사가 구멍을 통해 터널부로 유입되도록 유도한다. 터널부의 유속은 2.4~3 m/sec 정도로 터널부에 유사 퇴적이 발생되지 않도록 한다.

(2) 와류형 유사 배출장치

상부가 열린 튜브(Tube)나 가는 홈(channel)으로 구성된 이 형식은 취수유입공의 흐름방향과 약 45°의 각도를 유지하며 튜브나 가는 홈의 윗부분과 하상부분의 표고가 일치하도록 설치한다. 유사배출장치 상부의 흐름은 튜브 안쪽에 나선형 흐름을 유발시켜 유사를 하류로 이송하는 역할을 한다. Ahmad 등(1960)은 가능하면 튜브의 폭을 작게하여 유사배출에 쓰이는 유량을 줄여주는 것이 바람직하다는 결론을 실험을 통하여 얻었다.

7.4.4 퇴사 및 하도조절 사례

가. 배인을 이용한 취수구 주변의 천수화 해결

배인을 이용한 증적하천의 천수화(Shoaling)의 좋은 해결 예로서 미국의 Iowa에 있는 Duane Arnold Energy Center (DAEC) 취수구의 개선을 들 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이 DAEC는 공장의 냉각수 취수를 위하여 1972년부터 0.7 m³/sec의 물을 Iowa주 Ceder River로부터 취수하고 있으나 천수화의 문제가 항상 대두되어 왔던 곳이다. 각종 실험과 이론식의 수치해석을 통하여 배인을 설계하고 건설한 후(그림 7.13 참조) 1년이 지난 1992년 현재 그림에서 보는 바와 같이 취수구 주변의 퇴사문제가 해결되었다(Odgaard 와 Wang; 1995).

나. 수제, 침사지 및 기계적 유사포착 장치 혼용 사례

Johnson과 Ettema(1988)가 보고한 바에 의하면 Kansas Power and Light Company의 Jeffrey Energy Center(JEC)의 경우 제티와 유사포착망을 이용하여 퇴사문제를 성공적으로 해결하였다. 문제의 캔자스강 냉각수 취수구는 그림과 같이 모래하천의 만곡부 바깥 쪽에 위치하고 있으며 취수시설 용량은 3.1 m³/sec이다. 이 취수구에서 발생하는 주요 문제는 (1) 갈수시 잦은 유로변경에 의한 취수제한, (2) 취수구 주위의 심한 퇴사, (3) 취수중 부유사 유입, (4) 나무가지 등 부유물질의 취수망 포착 등으로 거의 모든 취수구 문제들을 내포하고 있다. 이러한 악조건에서

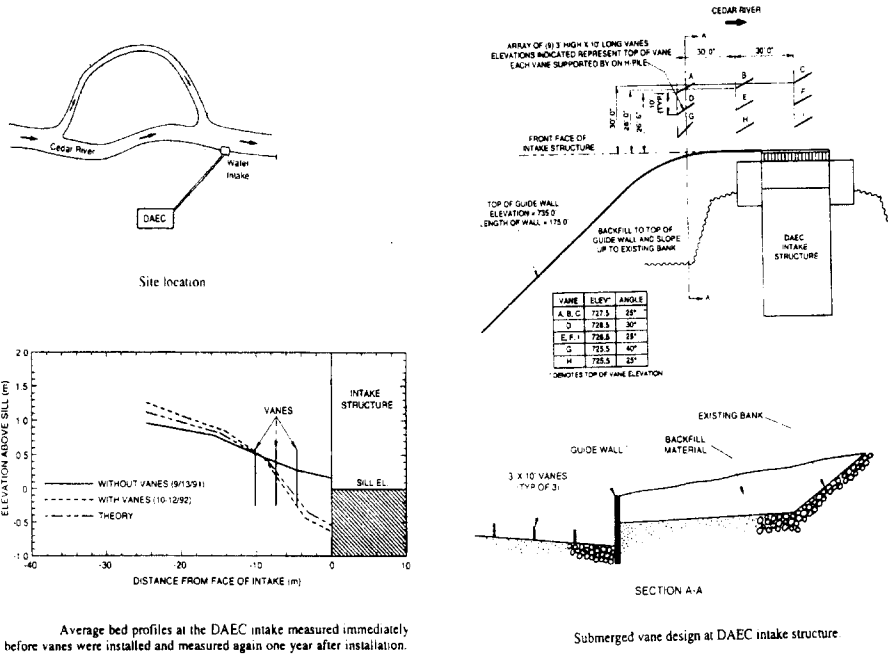


그림 7.13 베인을 이용한 하도의 천수화(Shoaling) 해결 예

안정되게 취수하기 위하여 취수망(intake screen), 침사지, 펌프시설, 제티(Jetty)수제 등으로 구성된 취수시설을 설치하였다. 취수망은 작은 고기나 부유물이 침사지내로 들어오는 것을 방지하며, 침사지는 물과 같이 들어온 부유사를 침전시키고, 제티 수제는 취수구 주위로 물길을 유도해 최소한의 수심을 유지시킬 뿐만 아니라 갈수시 취수구 주변에 퇴사가 발생하는 것을 억제하는 역할을 한다. 취수망(intake screen)은 그림 7.14와 같으며 주위 콘크리트 벽에 의해 보호되어 있고 연직방향으로 움직일 수 있어 수심이 작을 때도 취수할 수 있다. 한편, 망에 걸리는 작은 물고기나 부유물을 제거하기 위하여 100-140 psi의 강한 압력의 공기를 주기적으로 취수관에 불어넣는다. 취수망의 흡입구를 통과하는 유속은 0.2 m/sec 를 넘지않도록 설계했으며 망눈간격은 1cm 짜리를 사용했다. 취수골(intake trough)에 쌓이는 퇴사의 효과적인 제거를 위하여 전방과 후방에 강력한 물분사(water jet) 시설을 갖추어 0.8 m³/sec의 수량으로 주기적으로 취수골내의 퇴적유사를 씻어낸다. 이러한 배사시설은 물리모형실험을 통하여 물분사 장치의 위치와 배열 등을 결정하였다. 침사지는

60 m × 15 m 의 크기로서 0.5 mm 이상의 모래는 침전되도록 설계되었다. 이 시설은 1982년 이후 유지관리상의 몇가지 문제를 제외하고는 계속 성공적으로 작동되는 것으로 보고되었다.

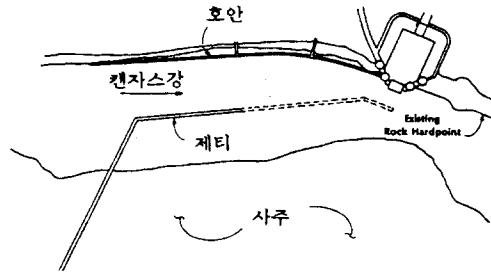
다. 배인을 이용한 하천제방 침식방지

평균 유량이 10.6 m³/sec 이고 유사량이 연간 862,000 톤에 달하는 미국의 Iowa 주 Nishnabotno강의 경우 하천의 침식이 진행되면서 그림 4.15와 같이 34번 고속도로의 제방을 붕괴시킬 위험에 처하자 하천제방의 안정성 확보를 위하여 배인을 시공하게 되었다(Dewitt 과 Odgaard; 1991). 그림에서 나타난 바와 같이 1985년 건설부터 1990년까지의 하도 변경상황을 보면 배인의 시공은 성공적임을 알 수 있다.

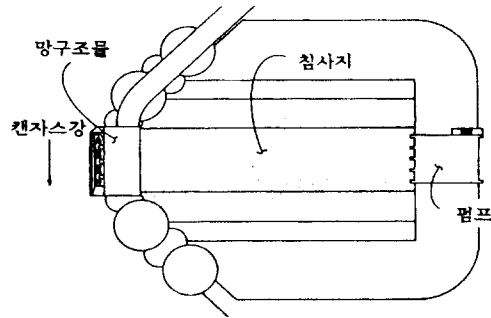
라. 횡방향 전환유입공

전환수로 유입공 형태와 위치 및 각도 선정 등은 나선형 수류의 특성을 고려하여 결정하였다. 동일한 개념을 도입하여 전환수로의 유입공에서 나선형 흐름을 발생시키고 유입공에 흐름을 만들어 유사를 제거하는 기법으로 경사가 급한 협곡이 설치하기에 이상적인 위치다.

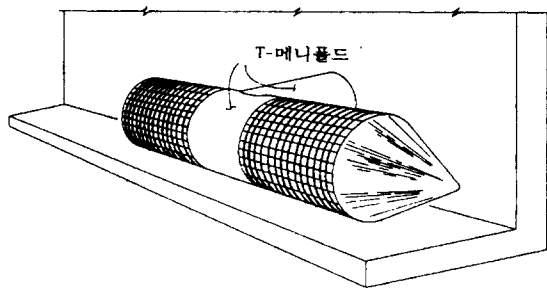
흐름에 퇴적된 유사는 본류로 다시 환원시키는 구조물이다. 그림 7.16은 오스트리아의 Langenegg 수로에 설치된 배사방식의 전환유입공 설계예다(Scheuerlein, H.; 1984). 이 예의 경우도 최종적인 설계는 3차원 흐름의 발생으로 인한 수치해석적 분석이 곤란하여 역시 수리모형실험을 통하여 설계되었다.



(a) 취수구 위치 및 제티 설치 평면도

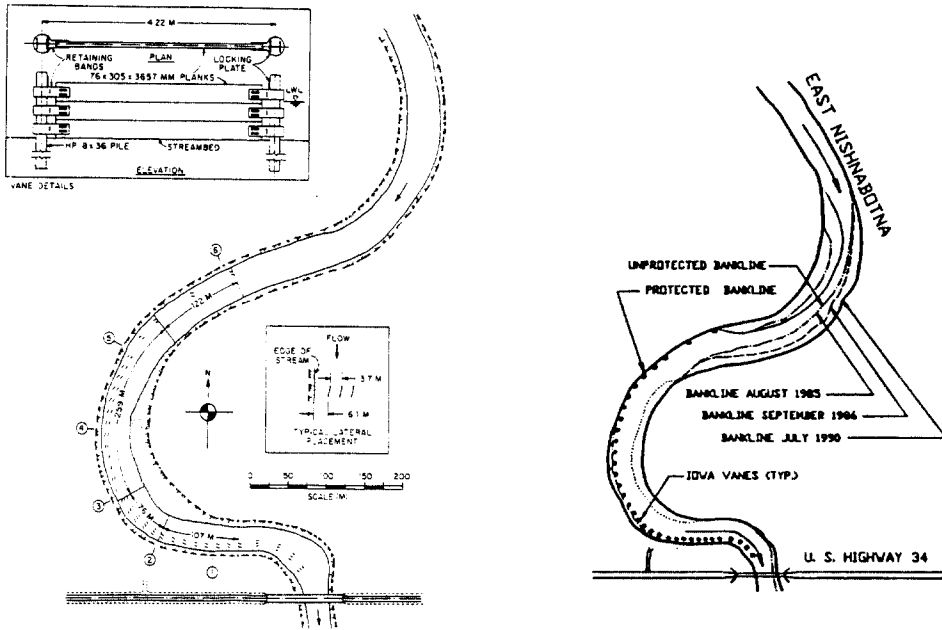


(b) 침사지 및 망구조물 설치도



(c) 망구조물 상세도

그림 7.14 수제, 침사지, 유사포착망 등의 혼용을 통한 유사조절 예 (계속)



(a) 베인 상세도 및 설치도

(b) 베인 설치후 하도 노선 변화도

그림 7.15 베인을 이용한 하천제방 침식방지 및 하도노선 조절 예

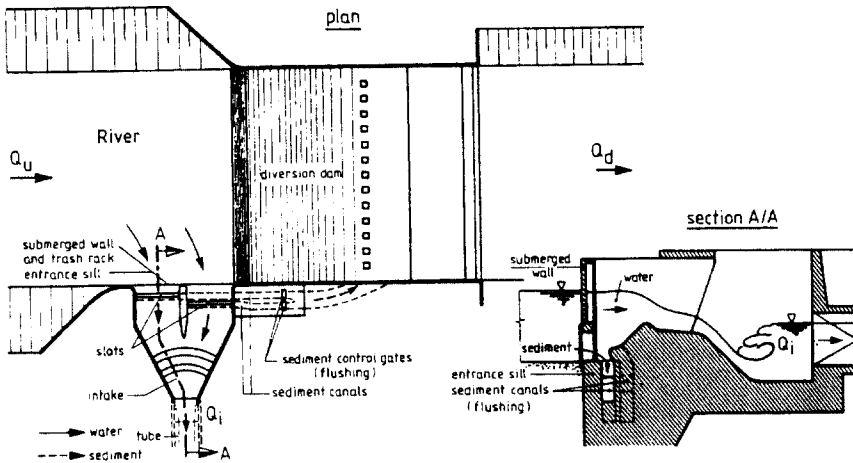


그림 7.16 Austria Subersach Diversion의 유사제거 시설

마. 국내에서의 연구

국내에서는 퇴사와 관련된 연구는 미약한 실정이며 건설기술연구원(1993)에서 국내 전체 취수장에 대한 퇴사관련 실태조사가 이루어진 바 있고 한국수자원공사(1996, 1997)는 금강취수장에 대한 취수구 퇴사의 원인분석 및 유사유입 저감기법 설계 및 적용에 대한 실무적인 연구가 국내 최초로 수행한 바 취수구의 구조변경은 물론 하상조정을 위하여 배인 설치 및 수제공 설치를 위한 실무적 연구결과를 그림 7.17 및 그림 7.18과 같이 발표하였다.

한국수자원공사에서 관리하는 부여에 위치한 부여취수장의 경우 1984년에 완공되어 전주, 이리, 군산 등 27개 도시에 용수를 공급하고 있다. 시설용량은 300,000 톤/일, 실취수량은 250,000 톤/일이며, 부여에서 취수하여 석성정수장을 거쳐 126km의 관로를 통해 주요 수요지로 공급되고 있다. 이 취수장은 준공이후 취수구 주위 퇴사문제로 지속적인 취수장애가 발생하여 취수구 주위 및 착수정에서 매년 많은 양의 모래를 제거하고 있다. 취수구 주위의 퇴사재료는 모래이며, 퇴사범위는 면적 약 23,000 m², 깊이 4 m로 92,000 m³로 보고되었다.

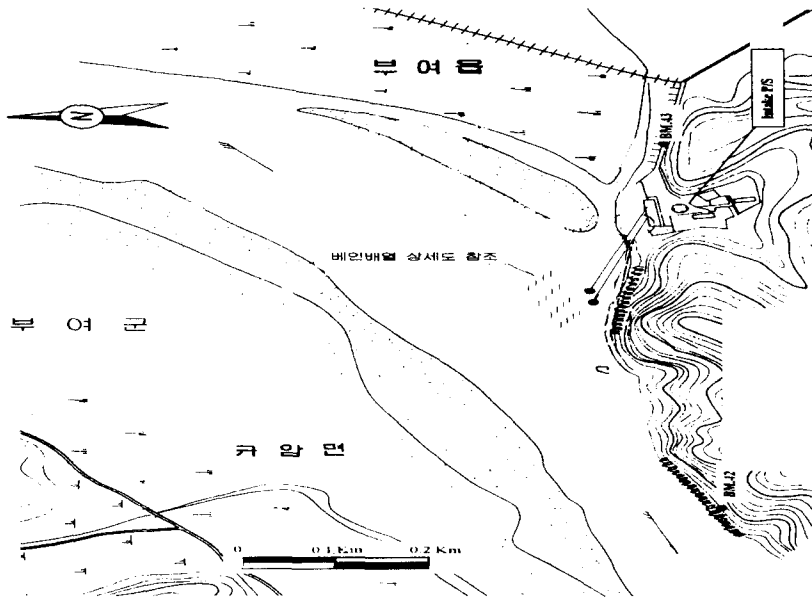
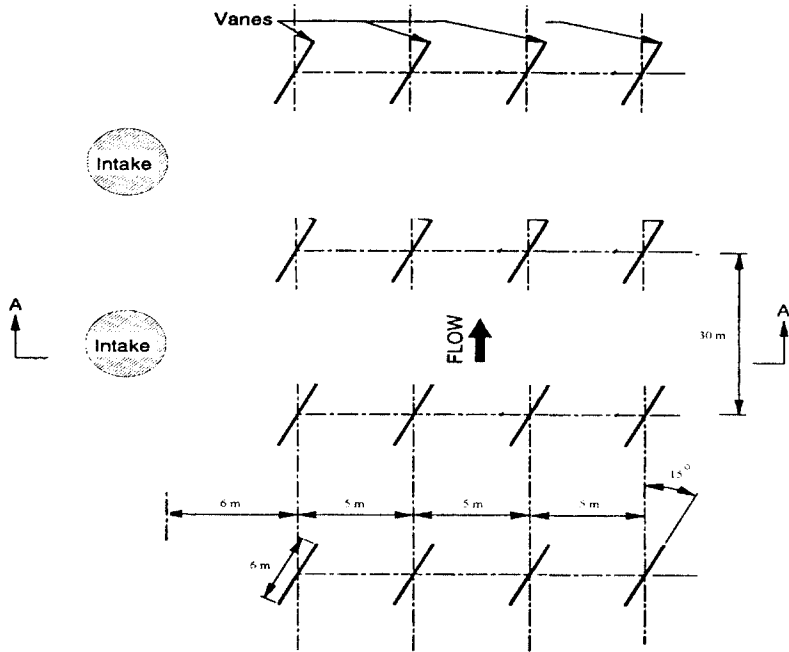
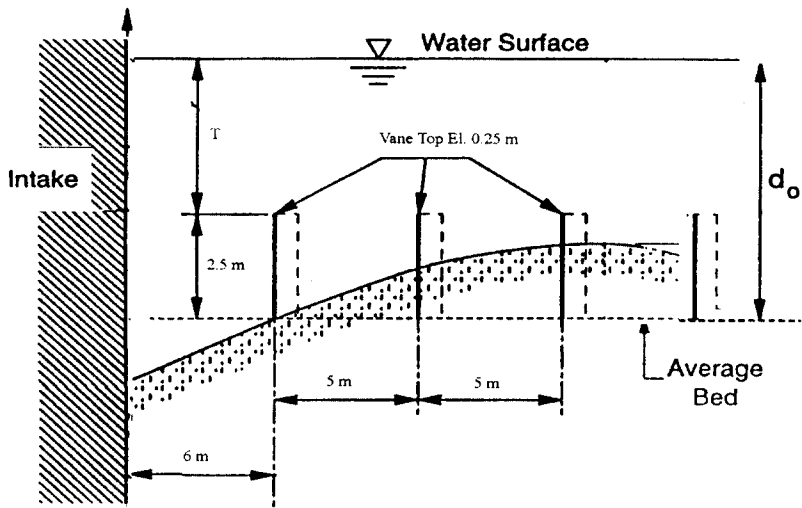


그림 7.17 취수탑 주변 배인배열 개념도



(a) 베인배열 상세 평면도



SECTION A-A

(b) 베인배열 A - A 단면도

그림 7.18 하상저하를 위한 베인배열 설계도

7.5 결 론

7.2절에서는 유사가 야기시키는 문제점을 국내·외의 사례를 들어 기술하였으며 7.3절에서는 전체적인 유사 및 퇴사에 대한 이론적 접근방법을 서술형태를 빌어 기술하였다. 또한 7.4절에서는 현재 세계에서 적용되고 있는 각종 유사조절 기법을 총망라하였을 뿐만 아니라 적용사례를 기술하여 실무기술자 및 엔지니어의 이해를 돕고자 하였다.

이상에서 검토한바와 같이 취수장 주변에서의 유사퇴적 및 유사유입은 취수원 수질은 물론 취수량 확보 및 운영에 지대한 영향을 미친다. 따라서 취수장의 건설을 위해서는 취수원의 종류, 취수량에 따른 취수구조 및 형태는 물론 취수장 건설 주변 뿐만 아니라 취수원이 속해있는 하천수계 전체에 대한 보다 광범위한 수리적 유사특성을 파악할 수 있도록 하천형태학적 분석도 실시하여 취수량 확보 및 최상의 수질이 유지되어 취수장 운영이 잘 이루어질 수 있도록 하여야 한다. 이를 위해서는 계획단계부터 보다 신중하고 깊이있는 기초적 검토가 이루어질 수 있도록 준비작업에 충분한 시간을 할애하여야 할 것이며 이러한 분석에 필수적인 각종 기초자료 수집에도 많은 노력을 기울여야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 환경부, (1997), “상수도시설기준”, 한국수도협회.
2. 한국수자원공사, (1996), “취수구 유사유입저감기법 개발연구 (중간보고)”, 한국수자원공사.
3. 한국수자원공사, (1997), “취수구 유사유입저감기법 개발연구 (최종보고)”, 한국수자원공사.
4. 한국수자원학회, (1997), “취수장주변의 수리현상”, 한국수자원학회지. Vol.30, No.1, pp. 21 ~49.
5. 건설부, (1992), “댐 설계를 위한 유역단위 비유수량 조사·연구”, 한국건설기술연구회.
6. 건설부, (1993), “하도 환경정비 기초 조사, 연구”, 한국건설기술연구원.

7. 산업기지개발공사, (1987), “창원 본포취수장 및 금강 부여취수장 하상변동 및 취수대책 조사보고서”, 산업기지개발공사.
8. 橋本 宏, 淺野富夫, 坂野 章, (1985), “アイオウ式ベン工の迎角に関する實驗的檢討”, 토목기술자료, Vol. 27, No. 8, pp. 32-37.
9. 橋本 宏, 淺野富夫, 坂野 章, (1985), “アイオウ式ベン工の迎角と長さに関する實驗的檢討”, 제29회 수리강연회 논문집, pp. 603-608.
10. ASCE, (1975), “Sedimentation Engineering”. ASCE Manual and Reports on Engineering Practice, No. 54 Edited by Vanoni.
11. ASCE, (1990), “Water Treatment Plant Design”. ASCE and AWWA.
12. BHRA, (1989), “Sediment Control at Intakes-A Design Guide”, British Hydraulic Research Association.
13. IAHR, (1992), “Movable Barrages and Intakes on Sediment Transporting rivers”. International Association for Hydraulic Research.
14. Odgaard, A.J. and Kennedy, J.F., (1983), “River-bend Protection by Submerged Vanes” J. of Hyd. Div., ASCE. Vol. 109. No. 8, pp. 1164-1173.
15. Odgaard, A.J. and Wang, Y., (1995), “Sediment Management in Rivers Using Submerged Vanes”. HYDRA2000, IAHR Annual Conference Vol. 4, pp. 60-65.
16. Pavlovic, R.N., Varga, S. and Mistic, B., (1985), “Two-Dimensional Depth-Averaged Model for the Calculation of Sediment Transport and River-Bed Deformation”, Proceeding of International Symposium on Refined Flow Modelling and Turbulance Measurements, Iowa City, Iowa.
17. Scheuerlein, H. (1984), “New Design of Sediment Control Facilities for Diversion Headworks in Mountain Streams, Channels and Channel Control Structures”, Proceedings of the 1st International Conference on Hydraulic Design in Water Resources Engineering, pp. 2.43-2.52.