

沖積河川에서 洗掘과 流砂特性

安 相 鎭*

1. 序 論

沖積河川이란 河床을 구성하는 材料와 流水에 의해 이송되는 材料의 특성이 같은 하천이며, 대부분의 경우 沖積河川이란 모래하천이다. 기존의 流砂量公式들은 沖積河川에서 河床材料의 移送(하상토 유사량)을 算定하는 공식들이다. 따라서, 우리나라 대부분의 山地河川과 같이 河床이 자갈로 덮여있는데 홍수시 모래나 실트가 이송되는 경우 모래와 실트는 이른바 미립부유사(wash load)이다. 따라서 이러한 하천에 모래나 실트의 양을 계산하고자 流砂量公式를 適用할 수 없다. 이 점에서 우리나라에서 자갈하천에 流砂量公式를 적용하여 土砂 移送量을 추정하는 경우가 종종 있는데, 이러한 적용은 분명히 잘못된 것이다. 또한 河口에서와 같이 河床이 실트나 粘土로 되어 있는 河川에도 충적하천에 적용하는 유사량공식을 적용할 수 없다. 이 경우 실트나 점토 등 미립토사의 침식과 퇴적을 예측하는 특별한 공식을 적용하여야 한다.

하천에서 洗掘은 河川水系內 많은 形態學的 因子들의 중요한 변화의 要因이 되고 있다. 일반적으로 河川水路의 地形學的인 모습들은 河川水系內의 水理學적인 要因들과 밀접한 관련이 있다. 이들 수리학적, 지형학적 요인들에 대한 적절한 豫測은 水工學者나 設計者에 있어서 適合한 橋梁設計를 하는데에 필수적이다. 이 要因들은 河川 및 그 支流에 대

한 단기적 및 장기적인 變化에 대한 양상을 나타내 주고 있으며, 또한 環境的인 요소와 河川環境의 美的 變化는 橋梁을 가로지르는 洗掘의 影響을 크게 받고 있다. 주로 橋梁의 橋脚(pier) 및 橋檣(abutment)에 대한 洗掘의 影響은 전세계를 통해 많은 연구자들의 주제가 되어 왔다. 研究의 주된 과제는 洗掘의 影響을 미치는 因子들의 力學的인 舉動에 대한 것이며, 洗掘因子들의 最大影響 및 平衡 洗掘深度를 豫測하는 적절한 방법들이 직접적으로 연구되어졌다. 실제로 解析的인 接近方法을 통한 수많은 연구결과가 있음에도 불구하고 실제 적용상 어려움으로 인해 實驗的인 연구 및 現場 資料에 의한 解析들이 유도되었으며, 포괄적이고 보편적으로 받아들여진 세굴의 豫測技術은 河川의 복잡한 水理學的, 地形學的인 現象 때문에 아직 이용하고 있지 못한 실정이다. 洗掘에 초점을 둔 理論的인 측면에서, 특히 橋脚에서 일어나는 세굴은 이동하는 流體의 力學的인 相互作用 및 점착력이 없이 불균등하게 分布된 모래입자들을 포함하는 3차원적인 문제로써 그 현상이 複雜하게 일어난다.

비록 포괄적이고 전반적으로 받아들여진 洗掘豫測에 대한 解는 없지만 합리적으로 最大洗掘 深度 및 平衡洗掘深度의 정확한 예측은 財政上의 問題와 安全條件을 적절히 나타내기 위해 水工學者나 設計者들에게 매우 중요하다. 현재 더욱 정확한 세굴에 측정방법들은 특정 河川敷地에 대한 洗掘現象을 理解하고 그 현상에 따른 예측방법을 적절하게 選擇하

* 忠北大學校 工科大學 土木工學科 教授

冲積河川에서 洗掘과 流砂特性

는 일련의 과정을 통해서만 얻어진다.

2. 洗掘現象 分類

洗掘現象은 유체의 힘에 기인하여 水路境界를 조성하고 있는 河床材料의 이동 및 제거를 통해 水路斷面이 확장되는 現象으로 定義할 수 있다. 이 현상은 흐르는 물에 의한 침식활동, 수로내 하상경계의 掘鑿現象 및 河川의 水路斷面으로부터 침식된 재료의 運搬作用들을 포함한다. 따라서, 서로 다른 하상재료로 구성된 하천은 洗掘比率에 차이를 나타낸다. 느슨한 立狀土壤은 하상에 活動하는 유체의 힘에 의해서 빠르게 침식된다. 반면에 粘着性土壤이나 接着性土壤(cemented soil)은 세굴에 저항하는 힘이 느슨한 토양에 비해 크다. 그러나 점착 또는 접착성 토양의 極限洗掘深度는 통상 砂質河床 河川의 洗掘深度보다 크다.

일반적으로 橋脚洗掘은 上流로부터의 영향으로 세굴구멍을 형성한 狀態와 流砂의 存在에 의해서 分類할 수 있다.

첫째, 橋脚에서의 침식은 堆積(aggradation) 및 洗掘(degradation)作用, 收縮洗掘 및 局部洗掘로 分類된다. 堆積 및 洗掘作用은 河川이나 流域 上流部內的 水理學的, 河川形態學的 特性에 따른 變化에 기인한다. 堆積作用은 河川斷面の 위로부터 침식된 재료의 堆積作用을 포함하며, 반면에 洗掘作用은 河床이 낮아지는 作用을 포함한다.

수축세굴은 자연수로나 인공수로의 형태학적 변화에 기인하는 하천수로의 收縮現象의 結果에 의한 변화로 定義된다. 이는 주로 水路幅의 減少가 水路斷面積의 減少를 일으키는 原因이 되며, 流速을 增加시키고 그 結果로 收縮洗掘을 發生시킨다. 또한 수축세굴은 교량설치에 따른 背水 및 流速變化에 의해 하류에 있어서 水面高度의 變化가 생기며 이는 短期間(daily, weekly, seasonally, or yearly) 동안에도 발생된다.

局部洗掘은 橋脚, 橋台, 돌출부 및 둑이나 堤防과 같이 흐름을 방해하는 장애물에 의한 흐름의 지연으로 河床 變化의 결과를 가져오는 것으로 定義

된다. 이 장애물들은 흐름운동을 加速化시키고 주위의 河床物質(流砂)을 움직여 渦流(vortex)를 發生시킨다. 일반적으로 局部洗掘에 의한 洗掘深度는 그밖의 두가지 형태의 洗掘深度보다 더 크다. 그러나 교량의 상, 하류부에 큰 댐의 건설이나 또는 하천의 직선화 공사와 같은 하천상태에 주요한 변화가 생긴다면 장기간의 河床 基準水位의 變化는 總 洗掘深度에 큰 影響을 끼친다.

둘째로, 上流로부터 세굴구멍에 공급된 流砂量의 存在에 의해서 橋脚洗掘은 靜的洗掘 및 動的洗掘로도 分類할 수 있다. 이러한 분류방식은 堆積 및 洗掘作用이나 收縮洗掘에 의한 分類式이라기 보다는 局部洗掘에서 주로 이용되는 方式이다. 이러한 分類는 數學的으로 表現하면 다음식과 같다.

$$q_s = q_{s1} - q_{s2} \quad (1)$$

여기서, q_s 는 單位時間當 體積의 次元을 가진 單位時間當 洗掘量이며, q_{s1} 는 같은 次元의 洗掘구멍으로부터 유출되는 流砂運搬量, q_{s2} 는 세굴구멍으로 流入되는 流砂運搬量이다. 靜的洗掘은 세굴구멍에 流砂가 流入流砂로 보충됨이 없이 옮겨져 이동할때 發生한다. 靜的洗掘은 위 식(1)에서 $q_s = q_{s1}$ 과 같이 쓸 수 있으며, 즉 q_{s2} 는 0이 된다. 動的洗掘(livebed scour)은 河川의 河床위로부터 運搬된 流砂에 의해 持續的으로 공급받을때 발생된다. 數學的으로 q_{s1} 및 q_{s2} 는 0이 아니다. 一般的으로 動的洗掘은 細立質 河床 河川에서 發生하며 動的洗掘은 낮은 掃流動力(stream power)을 가진 粗立質 河床 河川에서 發生된다. 一般的으로 최대 靜的洗掘은 最大 動的洗掘深度 보다 약 10% 정도 크게 나타난다. 洗掘구멍 밖으로 流出되는 流砂移動率과 流入되는 流砂移動率이 같을때 발생하는 洗掘을 平衡洗掘이라 定義한다. 이때에 平衡洗掘은 $q_{s1} = q_{s2}$ 가 된다.

3. 解析的 見解로 본 洗掘現象

3.1 堆積과 洗掘作用

堆積 및 洗掘現象은 地形學者와 水工學者의 見解로부터 說明할 수 있다. Leopold et. al.(1964)는 堆積 및 洗掘現象에 대해 다음과 같은 地形學적인 見解를 提案하였다.

“水路區間을 통해 洪水로 인한 水位의 上昇에서 河床에 流速과 剪斷應力이 增加한다. 그 結果로 水路河床은 水深의 흐름에서 洗掘되는 傾向을 나타낸다. 流砂는 上流로부터 影響을 받으므로 水位가 떨어지면서 剪斷應力이 減少하고 유사는 河床에 침식되거나 河床을 채우게 된다. 반면에 上昇 및 下降作用의 概念은 長기간동안 發生되는 類似한 過程을 適用시킬 수 있다. 洗掘채움 現象은 分單位, 時間單位, 日單位, 때로는 季節單位로 表現되며 堆積 및 洗掘作用은 年단위로 測定된 期間을 통해 平均變化量을 適用시킨다.”

이와는 반대로 Somons와 Senturk(1977)은 다음과 같은 工學的인 見解를 提案하였다. “河川은 斷面의 幾何學的 形態가 時間이 一定할때 安定하다. 만약 水路바닥 標高가 基準標高보다 增加하면 河床은 上昇될 것이며, 바닥표고가 기준표고보다 下降하면 河床은 低下하게 된다.”

段階的 變化에 따른 既往의 研究들에서 대부분의 變化는 人間의 活動에 기인하여 중요한 段階的인 變化는 첫번째 흐름사상에서 뚜렷하게 나타난다고 지적하였다. 이들 段階的 變化는 흐름사상의 持續期間에 의해 며칠이내, 몇주일이내, 또는 몇개월이내에 나타난다. 一般的으로 河川水系가 거의 불안정할때 形成되는 河川의 첫번째 形成期間 및 그 때의 河川은 주목할만한 段階的 變化나 水位의 조정 작용이 일어난다. 이들 變化 혹은 調整作用은 年단위로 測定된 期間동안 매우 천천히 유지된다. 그러한 長期間의 變化는 自然過程이나 人間活動으로부터 原因이 되므로 工學者들은 河川 및 流域의 現在狀態에 기초하여 河川水系의 장래의 變化에 대해 評價해야 한다.

長期間동안 河川 河床 標高의 變化는 河床體系(fluvial system)解析과 관련된 河川의 力學的 舉動原理에 利用된다. 그러한 河川體系의 解析은 수로 流域으로부터 流出(水文學), 水路에서 流砂量

의 運搬(침식), 水路의 流砂 移送能力(水理學) 및 이들 要因들에 대한 河川의 反應(地形學 및 河川形態學)등의 모든 影響을 고려해야 한다. 長期間동안 變化하는 가장 큰 要因은 人間의 活動으로부터의 결과이므로 이 解析에는 과거의 河川 歷史 研究와 더불어 人間의 活動 歷史, 즉, 물의 利用 狀態, 河川 調節 活動 및 河川 管理등을 필요로 한다.

3.2 收縮洗掘

收縮洗掘은 河川의 흐름 斷面積이 自然 또는 人工의인 收縮에 의해 減少될 때 發生한다. 흐름 斷面積이 減少함에 따라 平均流速 및 河床 剪斷應力은 增加한다. 따라서, 剪斷應力의 增加로 인해 掃流動力도 增加하게 된다. 결국, 一般 河川 區間에서 運搬되는 量보다 더 많은 河床材料가 收縮된 水路區間을 통해 運搬된다. 河床材料의 移動增加는 河床의 높이를 基準水位보다 낮추게 된다. 洗掘에 의해 河床의 標高가 낮아지고 斷面積이 增加하며, 流速 및 剪斷應力은 平衡狀態가 될때까지 減少하게 된다는 사실은 중요하다. 收縮洗掘에 영향을 미치는 因子는 自然河川의 收縮, 橋梁에서 近接한 홍수터 얼음 또는 잼(jam)의 形成, 橋梁設計時 流砂의 침식에 의해 形成된 섬이나 砂洲(bar), 堤防을 따라 形成된 소단(berm), 그리고 水路나 홍수터에서의 植物의 成長 등이다.

收縮洗掘의 크기를 계산하기 위해서는 두가지 考慮事項이 요구된다. 즉, 背水效果에 의한 變化를 計算해야하고, 이 條件에서 收縮洗掘의 크기를 計算해야 한다. 橋脚이 bend에 近접하게 위치하고 있다면 bend의 바깥부분으로 수축하게 된다. bend 안쪽부분에서는 침식이 발생되기 때문에 수축현상이 예상된다. 따라서 더 많은 세굴이 bend의 바깥부분에서 발생하게 된다. bend 流深線(河川에서 流量이나 流速이 가장 큰 部分을 연결한 線)은 流速이 增加함에 따라 하천의 中心을 향해 方向을 變化시킬 것이다.

3.3 局部洗掘

局部洗掘은 흐름에 지장을 주는 障礙物에 의해

沖積河川에서 洗掘과 流砂特性

야기된 渦流系(vortex system)의 活動에 기인하여 發生된다. 이 洗掘現象은 上昇이나 下降現象, 또는 收縮洗掘이 없을때도 發生可能하다. 局部洗掘은 수로폭 전반에 걸쳐 정규적으로 發生되지는 않는다. 局部洗掘을 일으키는 基本的인 메카니즘은 흐름의 上流部 끝이 橋脚에 들어올려지는 現象과 橋脚의 턱주위에 흐름이 加速化로부터 結果된 흐름의 渦流現象이다. 渦流의 活動은 地盤地域의 河床材料를 침식시켜 밖으로 내보낸다. 洗掘地域으로부터 떨어져나간 流砂移動量이 이 地域의 流入流砂보다 크다면, 새굴구멍이 發達된다. 洗掘구멍의 깊이가 增加하게 되면 渦流의 強度는 減少한다. 따라서, 流砂 運搬率도 減少하게 되며 平衡狀態가 이루어진다.

局部洗掘에 影響을 주는 因子들은 水深, 橋脚의 크기, 流速, 流砂의 크기, 流砂의 段階的 變化, 橋脚의 形狀, 接觸角, 河床材料의 深度 및 流況을 들 수 있다.

4. 沖積河川에서의 流砂量公式

沖積河川에서의 浮流砂에 관한 본격적인 研究는 1930년대 미국, 특히 캘리포니아의 Caltech에서 시작되었다. Schmidt(1925)와 O'Brien(1933)에 의해 제안된 浮流砂 擴散方程式은 Rouse(1937)에 의해 Prandtl-Karman의 對數式(log-law)을 이용하여 積分되어 解析되었다. 沖積河川에서의 부유사 농도의 연직분포를 예측하는 이러한 擴散方程式의 解는 Rouse의 方程式이라 불리우며, 그 후 Einstein 公式(1950)과 Van Rijn 公式(1984) 등과 같은 擴散-移送(diffusion-advection) 形態의 流砂量 算定方法에 직접 利用되었다.

미국에서의 掃流砂에 관한 研究는 1942년에 스위스에서 미국으로 移民은 Einstein에 의해 크게 자극되었다. Einstein의 掃流砂量 公式(1942)은 그 후 Brown에 의해 實測資料와 보다 더 잘 맞게 修正되었으며, 그 후 Einstein과 Brown 公式(1950)으로 알려졌다. 비슷한 때에, Kalinske(1947)은 河床 근처의 亂流變動速度는 正規分布한

다는 假定에 基礎하여 새로운 掃流砂量 公式를 提案하였으며 그의 公式은 Einstein의 1942년 公式과 마찬가지로 限界掃流力의 概念이 使用되지 않았다.

1950년 Einstein에 의해 발표된 掃流砂函數(Bed Load Function)는 Einstein의 博士論文과 1942년 그의 公式을 擴張한 것으로 沖積河川에서의 總流砂量을 算定하는 최초의 본격적인 模型이라 할 수 있다. 推計學的인 方法에 의해 算定된 掃流砂量에 Rouse의 流砂 濃度 分布式과 Prandtl-Karman의 速度 分布式의 곱을 水深에 대해 積分하여 算定된 掃流砂量을 합하여 總流砂量을 推定하는 이 方法은 그 公式 開發의 정교성과 짜임새에 비해 불행히도 推定結果는 相對的으로 良好하지 못한 것으로 알려져 있다(White 등, 1973). 그러나, 掃流砂量 推定을 위한 掃流砂 移送의 推計學的 接近方法은 그때까지 널리 사용되었던 限界掃流力의 概念이 필요하지 않는 劃期的인 것으로 그 이후 關聯 研究에 상당한 影響을 주었다. 또한, 掃流砂와 浮流砂를 각각 區分하여 推定하고 다시 합하여 總流砂量을 算定하는 Einstein公式의 基本概念은 그 후의 많은 總流砂量公式의 開發에 影響을 주었다. 예로서 Chang 등(1965), Toffaleti(1968), 吉川. 石川(Kikkawa와 Ishikawa, 1978), Karim와 Kennedy(1983)의 公式들과 최근의 Van Rijn(1984)의 公式의 基本骨格은 이런 면에서 Einstein 公式과 맥락을 같이한다.

1950년대 개발된 공식으로 또하나 주목할 만한 公式은 Laursen(1958)公式이다. Laursen公式은 DuBoys公式과 마찬가지로 河床剪斷應力과 限界掃流力의 函數로 表示되었으나, 특기할 만한 것은 그의 公式은 河川의 水理變量과 河床土 特性의 無次元 函數로 表示되었다는 점이다. 이러한 無次元으로 表示된 公式들의 長點은 단위 시스템에 관계 없이 成立된다는 것이다. 비슷한 때에 發表된 Rottner 공식(1959)은 基本的으로 掃流砂量 公式임에도 불구하고, White 등(1973)의 比較分析結果에 의하면 總流砂量과의 推定에도 상당히 우수한 것으로 나타났다.

1960年代의 總流砂量 算定에 관한 研究는 유럽에서 새로운 概念을 이용하여 試圖되었다. Bagnold(1960)에 의해 처음 소개된 掃流動力(stream power)의 概念은 Bagnold 자신의 공식뿐 아니라 그후 유럽에서 개발된 몇 개의 主要 公式들에도 채택되었다. 예를 들어, Englund와 Hansen(1967)의 公式이나 Ackers와 White(1973)의 公式 등은 相似法則(Similarity Hypothesis)에 基礎를 두고 開發되었으며 結果의으로 掃流動力, 즉 平均流速과 掃流力의 곱의 函數로 표시될 수 있다. 특히 Ackers와 White 公式은 그 시대의 컴퓨터를 이용하여 多量의 流砂量 資料와 보정하여 얻어진 公式으로서 컴퓨터를 이용한 流砂量 公式 開發의 효시라 할 수 있다.

掃流動力과 聯關하여, Yang은 平均流速과 河川 傾斜의 곱인 單位掃流動力(unit stream power)의 概念을 紹介하였으며 그가 提案한 公式들(1973, 1979, 1984)은 이러한 單位 掃流動力의 函數로서 表示되었다. 1973년에 發表된 公式은 限界掃流力 項을 포함하고 있으나, 1979년 公式에서는 이러한 項을 빼고 公式의 係數들을 재조정하였다. 1984년의 公式은 河床이 주로 직경 2mm 이상의 자갈의 경우에 특별히 適用할 수 있도록 開發되었다.

解析의 方法에 의한 總流砂量 推定 方法들의 結果에 대한 불만족은 1960년대 이후 특히 미국에서 純粹한 經驗的인 方法에 의한 流砂量 推定을 자극시켰으며 그 대표적인 것들이 Colby(1964)의 圖解法과 Shen과 Hung(1971), Brownlie(1981a) 등의 回歸式들이다. Colby의 圖解法에서는 河川의 平均流速, 水深, 그리고 河床土의 입경의 함수로서 總流砂量이 表示되며 특히 모래보다 작은 실트나 진흙 등 微粒土砂(fine sediment)의 濃度가 總流砂量에 미치는 影響이 經驗的으로 考慮되었다.

Shen과 Hung의 公式은 流砂量에 影響을 주는 水理變量들의 單純 回歸式으로 表示되었으며 이 回歸式의 係數들 역시 既存 資料들의 回歸分析에서 얻어졌다. 그들의 주장은 流砂移送에 관한 지금의 지식으로는 解析的인 方法에 의한 流砂量 推定은

限界가 있으며 따라서 이러한 單純 回歸方程式에 의한 推定이 보다 간편하고 優秀하다는 것이다.

1970년대 이후의 總流砂量公式 開發의 큰 특징은 컴퓨터에 의한 大量의 資料處理에 의해 各 公式의 經驗係數들이 決定됐다는 것이다. 1950年代 말의 Rottner의 公式을 시작으로 그 후 Shen과 Hung, Ackers와 White, Yang, Karim과 Kennedy(1983), Brownlie(1981a)公式 등 대부분의 70年代 이후 開發된 公式들에서 최소한 1개 이상의 經驗係數들이 컴퓨터에 의해 既存資料를 처리하여 결정되었다. 기존 流砂量 測定 資料들도 컴퓨터를 이용하여 데이터 베이스화 되기 시작하였으며 그 대표적인 것들로 Cooper와 Peterson(1969), Peterson과 Howells(1973)와 비교적 최근의 Brownlie(1981b)의 流砂量자료 D/B를 들 수 있다. 따라서, 이러한 大量의 資料와 補正하여 얻은 流砂量 公式들은 제한된 量의 資料를 이용하여 얻은 과거의 公式들보다 일반적으로 우수한 結果를 보인다. 그러나, 이러한 상대적으로 우수해 보이는 공식들 자체도 實測值와의 誤差는 보통 수백 퍼센트 이상 나는 경우가 있으므로 어느 특정한 條件에서는 오히려 덜 우수해 보이는 公式들보다 못한 結果를 낼 수 있다. 사실, Kennedy(1989)가 지적했듯이 근래의 河川工學의 연구, 특히 總流砂量 推定에 관한 研究는 1950년대 Einstein의 研究 이전으로 후퇴하고 있는 면이 있다. 많은 河川流砂 연구자들은 解析的이고 物理的인 方法에 의한 河川流砂 研究가 限界에 다달았다고 생각하여 참신하고 새로운 方法보다는 과거의 'Black Box' 형태인 經驗的 方法에 의존하려는 경향이 강하여졌다. 이러한 傾向은 컴퓨터의 보편적 사용과 함께 더욱 두드러져, 하천유사 연구자들이 自然法則을 규명하거나 물리적인 해석을 하려는 노력에 컴퓨터의 출현이 도움을 주기 보다는 오히려 이러한 노력을 저하시키는 점도 있다는 것을 부인하기 어렵다.

이러한 점에서 비교적 最近에 開發된 Van Rijn(1984)의 總流砂量 公式은 주목할 만하다. 前述한 바와 같이, 그의 公式에서는 掃流砂量과 浮流砂量을 각각 따로 구해 총유사량을 추정하였으며, 또한

沖積河川에서 洗掘과 流砂特性

공식의 개발에 최소한의 經驗係數들을 사용하였다. 다시 말하면, 기본적으로 解析的인 方法으로 總流砂量을 推定하였으며 基準點 濃度(reference concentration) 등 일부 變量들만이 기존 자료를 이용하여 경험적으로 결정되었다. 이러한 점은 全術한 바와 같이 總流砂量을 몇개의 無次元函數로 表示하고 回歸分析에 의해 그 函數의 係數들을 결정한 方法들과는 근본적인 차이가 있으며, 더구나 그의 公式이 比較的 優秀하다는 點을 고려하면 앞으로 보다 信賴度 높은 流砂量 公式 개발에 밝은 전도를 보여준다.

5. 우리나라 河川의 流砂特性

韓國의 河川 및 流砂의 特性에 대해서는 建技研(1989) 研究에 개발적으로 나타나고 있다. 본 연구에서는 특히 하천유사량공식을 적용하는데 있어 관련된 우리나라 하천유사의 特性을 살펴보았다.

우리나라 河川은 그 하천이 위치한 지형에 따라 山地河川과 平地河川으로 區分할 수 있으며, 平地河川은 沖積地를 흐르는 沖積河川과 河川이 바다와 만나는 하구로 구분할 수 있다. 河川은 다시 주위 人文 特性에 따라 農村河川과 都市河川으로 區分된다. 우리나라는 산지가 전국도의 70%를 차지하고 있으므로 당연히 山地河川이 많다. 우리나라 산지 하천들은 대부분 河床이 자갈이나 그 보다 큰 호박돌로 구성되어 있으며 매우 安定되어 있다. 따라서, 이러한 곳에서 流砂移送는 홍수시 미립부유사의 形態로 유역에서 흘러내려온 실트가 대부분이며 모래의 이송은 지극히 制限된다. 이러한 사실은 1992년에 建設部의 ‘댐 計劃을 위한 流域單位 비유사량 調査·研究’에서 수행한 4개 조사대상 河川에서의 유사량 實測結果에서 알 수 있다.

우리나라 河川中 河床이 자갈로 구성된 섬진강, 금강 상류 등에서의 流砂는 대부분 실트질이며, 모래는 극히 制限되어 있다. 이러한 자갈하천에서 이송되는 실트는 이른바 세류사로서 그 하천의 水理量이나 河床材料의 特性보다는 유역에서의 유사공급에 따라 流砂移送量이 달라진다. 예를 들면, 이

러한 流砂는 봄, 여름 가뭄 후에 큰 비가 내린 流域에서 침식될 수 있는 많은 土砂가 있으므로 流砂濃度가 매우 커지게 되며, 계속 장마가 진후는 쓸러 내려갈 토사가 별로 없으므로 이 경우 流砂量은 같은 流量이라도 작게 된다. 이러한 細流砂에 대해 流砂量公式의 適用은 事實상 不可能하다. 우리나라에서는 山地河川이라도 流域의 地質과 土壤에 따라 河床材料가 純粹한 모래로 된 곳들이 있다. 그 대표적인 예로 경기도의 청미천과 북하천 상류, 낙동강의 내성천 상류와 황강 중류, 금강의 미호천 상류 등을 들수 있다. 우리나라 모래의 구성이 주로 석영질이므로 화강암이 풍부한 유역에 모래가 풍부할 것이라는 유추를 할 수 있으며, 실제로 청미천, 북하천, 내성천 황강 등은 대개 화강암이 지배적인 流域이다. 이러한 곳에서의 流砂移送는 내성천의 경우와 같이 모래가 支配적으로 이러한 河川에서 事實상 流砂量公式이 제대로 適用될 수 있을 것이다.

우리나라에서 넓은 沖積地를 흐르는 平地河川은 주로 모래하천이나, 계곡을 따라 형성된 소규모 평야지대를 흐르는 河川은 상당부분이 자갈로 덮혀있다. 더구나 우리나라 대부분의 평지하천은 農村河川의 성격을 띄며 농촌하천의 경우 오랫동안의 治水 및 灌溉活動에 의해 河川이 整備되어 自然河川의 性格보다는 人工河川의 性格이 강하게 되었다. 이에 따른 流砂移送面에서의 特徵은 河川에 놓인 보에 의해 河床이 安定되고 流砂移送이 여러 번 차단된다는 것이다. 이러한 경우 河床材料와 水流에 의해 移送되는 流砂는 事實상 다른 경우가 많게 되며, 이러한 河川에 流砂量公式을 適用할 경우 대표 河床材料의 選定이 어렵게 된다.

우리나라의 中小 都市河川들은 대부분 人爲적으로 정비되고 流域이 都市化 됨에 따라 流域에서 침식되는 토사가 적으므로 流砂移送量도 相對적으로 적게 된다. 더구나 中小都市 河川들은 河床이 整備되어 源 河床을 維持하지 않으므로 이러한 河川에 流砂量公式을 適用하여 流砂量을 推定하는 것은 事實상 不可能하다. 다만, 都市河川이라도 한강과 같은 大河川들은 河床이 여전히 自然狀態를 維持하

로 流砂量公式의 適用은 可能할 것이다.

河口에서는 流動力이 약해지고 潮水의 영향으로 모래의 이송은 급격히 줄고 실트질 유사가 지배적이 된다. 이러한 潮汐 河口에서는 모래가 河口까지 移送되지 못하며 따라서 河口는 주로 실트로 덮히게 된다. 우리나라에서 漢江이나 錦江 등 西海岸으로 흐르는 河川들은 대부분 이러한 現象을 보인다. 전술한 바와 같이 이러한 실트질 河口에서 既存 流砂量公式의 適用은 不可能하다. 다만, 東海岸의 小河川과 같이 하구까지 河川傾斜가 급하고 朝夕差가 심하지 않는 경우(西海岸의 干滿의 差가 수m인데 반해 東海岸은 수십cm 정도임) 모래는 河口까지 移送되어 堆積된다.

결론적으로 우리나라에서 流砂量公式을 적용하여 流砂量을 推定할 수 있는 河川은 상당히 제한되어 있다. 대부분의 자갈로 된 山地河川과 人爲으로 變化된 平地河川, 그리고 河口 등에서는 기존의 流砂量公式을 適用하기 어렵다. 따라서, 우리나라에서 河川流砂量을 결정하기 위해서는 무엇보다도

實測에 상당부분 의존하지 않을 수 없다.

참 고 문 헌

- 안상진 외 2인, “設計適用을 위한 橋脚洗掘現象의 豫測에 관한 技術的 水準” 忠北大 建設技術 論文集 11-1, 1992.
- 우효섭, “河川 流砂量 算定技法의 開發” 國際水文開發 計劃(IHP)研究報告書, 1993.12.
- 김중섭, “橋脚周圍의 局部洗掘에 관한 實驗的 研究” 忠北大學校 大學院, 工學博士學位論文, 1994. 2
- 우효섭 외 2인, “河川 및 貯水池에서의 洗掘과 堆積” 韓國水文學會, 水工學習삼教材, 1995. 2.
- 안상진 외 3인, “壓力變化를고려한 橋脚주위에서의 洗掘현상 연구”, 韓國水文學會誌 27-2, 1994.
- 안상진 외 3인, “報靑川內 橋脚設置에 따른 局部洗掘深度의 算定”, 대한토목학회 논문집 13-3, 1993
- 안상진 외 2인, “橋脚주위의 국부세굴에 관한 實驗的 研究”, 대한토목학회 1994년도 학술발표회 논문집 (II)