

금강하구의 퇴적환경변화

서승원*

1. 서론

서해연안중에서 근년에 공사가 가장 활발하게 진행되는 곳이 금강하구일 것이다. 금강하구는 하구둑의 수문이 닫히기 전까지 금강으로부터 유사 공급으로 퇴적환경이 지배적이어서 군산항으로 입출항하는 선박의 주운 수심을 확보하기 위하여 주기적으로 준설을 실시해야만 했었다. 그러나 1994년 8월의 금강하구둑 수문의 닫음과 하구에 축조중인 북측도류제 및 남측도류제와 군장국가공단 조성사업 군산지구 개발에 따른 호안 축조 및 새만금 4호방조제 건설등의 영향으로 금강하구 일대해역의 흐름이 급격히 변화되었고 이로 인한 퇴적환경의 변화가 불가피한 해역이다.

그동안 금강하구에서는 매년 약 $0.5 \times 10^6 \text{m}^3$ ~ $1.0 \times 10^6 \text{m}^3$ 의 준설을 실시하는등(이, 1994) 항내 매물을 방지하기 위한 종합적인 대책이 요구되어 금강하구 수리현상에 관한 수년간의 조사보고(군산항건설사무소, 1985;1986;1988;1989;1991,1992)가 있었고, 도류제의 축조등 퇴적을 방지하기 위한 방안이 마련되었다. 수년간 실측과 수치실험을 통하여 제시된 금강하구역의 퇴적현상을 집약하여 보고한 자료(이, 1994)에 따르면 금강하구역의 평균적인 해저퇴적물의 입도는 수심 5m 이상의 해역과 수로에서의 중앙입경은 0.06mm 내외이며 모래 30~50%, 실트 30~50% 그리고 점토 10~20%로 구성되어 있고, 얕은 수심에서는 중앙입경 0.20~0.25mm의 세사로 구성되어 있다. 퇴적에 대한 금강하구 주수로의 동적 평형을 수로의 안정성으로 평가한 결과는 군산내외항의 최대전단응력이 각각 0.38N/m^2 및 0.27N/m^2 로써 안정전단력보다 작아 퇴적이 일어나지 않는다고 하였다. 그러나 하구둑을 막은 후에는 조류속의 감소로 평형상태가 무너져 매물현상이 일어날 개연성을 보고하고 있다.

하구의 남북측 평행도류제 건설로 인한 퇴적성상의 평가에서는 대죽사주 부근에서 재부유에 의한 외항 항로로의 토사유입은 상당량 감소될 것으로 평가하였다. 그리고 하구둑 막은 후에는 내항에 유입된 부유사의 퇴적 가능성을 제시하였으며, 홍수시 하구둑으로부터 토출된 유사의 상당량이 외해로 이동될 것이나 창조류를 따라 내항으로 이동되어 퇴적될 가능성과 또한 홍수시 배출된 굵은 입자의 토사가 외항항로의 준설된 수로에 퇴적될 가능성을 제시하였다.

본고는 금강하구 수리현상조사보고 이후인 94년부터 96년까지 3년에 걸쳐 금강하구역에 대하여 조사된 것으로 실측 유속과 계측 수심에 의한 해저단면고의 변화를 살펴보고, 2차원 유한요소 해수유동 수치실험을 통하여 공사로 인한 복합적인 영향을 분석하기 위하여 추진된 일련의 연구(토지공사, 1994; 1995;1996)중 일다. 공사로 인한 유속의 변화가 퇴적환경에 미치는 영향을 해저전단응력과 퇴적간의 관계로 밝히기 위하여 실시되었으며, 지난 1995년 정기 학술강연회에서 발표된 "대규모 공사로 인한 금강하구역의 퇴적환경변화"(박·서, 1995) 이후에 보충 연구된 부분을 다루고 있다.

2. 수심측정 및 분석

공사로 인한 유동의 변화는 직·간접적으로 단기간의 퇴적환경의 변화를 초래하고 장기간에 걸쳐 수심 및 지형의 변화를 유발하게 된다. 본고에서는 군장국가공단조성지 인근해역인 금강하구역에 대한 2년간의 수심의 변화를 관찰함으로써, 공사가 인근해역의 환경에 미치는 영향을 파악하고 사후 관리하는데 이용하고자 그림1에 보이는 28개 관측정점에서 수심을 측정하였다. 가도 이남의 간사지에는 수준측량을 실시하여 퇴적환경을 이해하고자 도모하였다.

* 군산대학교 해양시스템학과

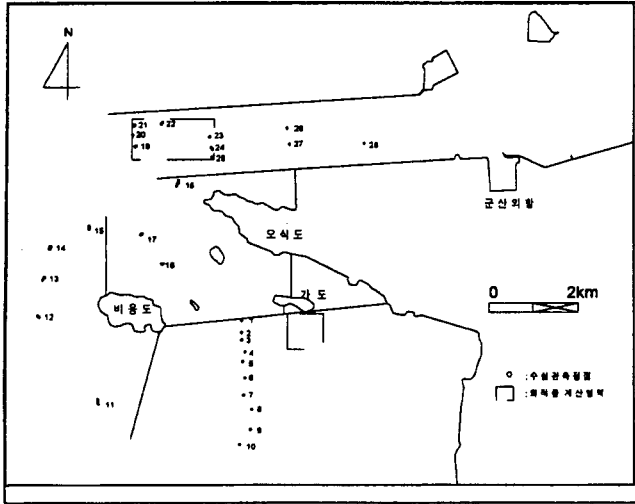


그림1. 수심측정 조사 위치도

매회 관측시 측정위치를 확인하고 동 시간대에 군산 외항에서 자동으로 측정되는 검조기록으로 평균해면의 값을 산출하여 해당 측정지점의 수심을 환산하는데 위치가 상이한 측정점과 군산 외항의 검조자료를 이용하는 데는 공간적인 위치 차이로 인하여 조차가 발생하므로 이를 보정하기 위하여 초기관측이 수행되었던 94년도에 수심측정과 검조기록이 이루어진 동 시간대에 해면을 측정한 성과를 비교하여 조차를 보정하였다.

군산외항 남·북측 도류제 해역의 퇴적현황을 정량적으로 살펴보기 위하여 그림1에 표시된 수심관측정점 19부터 25까지를 포함하는 영역에 대한 관측성과를 분석하여 그림2에 도시하였는데 1994년 10월 측정된 이후로 1995년 5월말까지

관측된 결과는 수심이 계속적으로 증가되는 세굴현상을 나타내다가 1995년 9월 관측에서는 일시적으로 퇴적경향을 보이나 또다시 1995년 12월에 관측성과는 세굴이 진행됨을 알 수 있다. 이러한 결과는 도류제의 축조로 증가된 조류속에 기인되어 세굴이 진행되나 1995년 8월 홍수시에 일시 개방된 금강하구 수문으로부터 유입된 토사가 도류제 구간에 퇴적되었다가 동적인 평형이 깨어지면서 다시 세굴되는 것으로 이해된다. 이(1994)가 추론한 바와 같이 금강하구역의 소류사로 인한 퇴적성향을 나타낸 것과 일치한다. 주수로 구간에 대한 유동변화와 퇴적환경의 변화는 수치실험을 통하여 확인된 바와 마찬가지로 조류속이 증가되어 퇴적이 둔화되는 순기능을 발휘할 수 있는 것으로 보인다.

따라서 금강하구역에서 현재 진행되는 공사는 인근해역의 유동변화를 초래하며 주변해역에 부정적인 영향을 끼칠 것으로 예견되는 퇴적환경으로 변화는 크지 않고 오히려 그동안 퇴적이 문제시되었던 군산항 주수로 부분에 유속의 증가를 유발시켜 다소나마 퇴적을 줄일 수 있는 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다.

기존의 서해연안에 대한 퇴적성향 연구에 의하면 전단응력이 $0.3N/m^2$ 이 해저질의 특성상 세굴과 퇴적이 동시에 발생할 수 있는 한계응력으로 보고되고 있다.

94년 재현상황과 비교하여 1년이 경과한 95년 12월의 재현상황은 전년에 비하여 군산항 주수로의 북측 도류제가 연장되었고, 새만금 방조제의 진척이 진행된 상황인데, 여타 해역은 전년에 비하여 전단응력의 뚜렷한 변화가 없는 반면에 새만금방조제 끝단에서는 상당한 변화가 보여 $1.5N/m^2$ 이상 되는 강한 응력이 형성되고, 가도와 비용도 호안 이남에서는 $0.1N/m^2$ 이하의 영역이 점차 확대되면서 이 해역에서의 퇴적이 상당히 진전되고 있는 것을 시사하고 있다. 이로부터 1년이 경과한 1996년 10월 재현상황은 비용도에서 북향하는 호안축조가 진행된 것과 남측도류제가 전년에 비하여 다소 연장된 것 그리고 새만금방조제 역시 다소 연장된 것이 유동장의 변화를 유발하는 달라진 외적인 환경의 변화이다. 이 시기에 변화된 유동장은 해저전단응력에도 영향을 끼치는데 비용도에서 축조되기 시작한 북향한 호안의 끝단과 새만금 방조제 끝단에서는 $2 - 3N/m^2$ 정도 되는 강한 응력이 나타나고 이로 인하여 호안축조시 투입된 상당량의 토사가 유실될 수 있음을 시사하고 있다.

그러나 공사가 완전히 종료된 이후의 상황에 대한 유동장과 이로 인한 최대 해저전단응력은 거의 전해역이 $0.5N/m^2$ 이상으로 변하게 되어 동적평형 혹은 세굴이 유지되는 상황으로 전이되고, 주수로 부분은 더욱 응력이 증가되어 지속적인 세굴이 일어날 수 있을 것으로 예측된다. 특히 남측도류제와

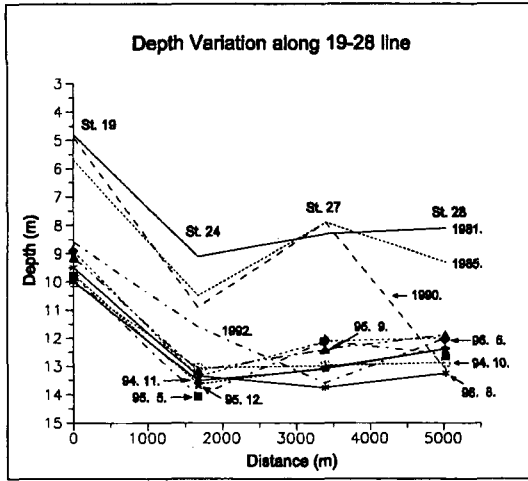


그림 26. 정선 19-28에서의 수심 변화

다고 할 수 있으며, 부차적으로는 폭풍과 같은 이상파랑의 내습 혹은 홍수시 하구둑 수문방류등으로 단시간 내에 유량과 유속의 증가가 해저지형의 변화를 유발할 수 있다.

이중에서 지속적으로 강한 영향을 미치는 것은 해수유동에 기인된 전단응력의 변화이며 부차적인 영향은 계량화하여 표현하기 어려우므로, 본 고에서는 직접적인 영향만을 고려함으로써 관측한 지형의 변화와 최대 해저전단응력간의 관계를 살펴보았다. 수심관측을 실시한 94년 8월과 최종적으로 관측을 실시한 96년 10월의 자료를 바탕으로 각 관측한 시기의 유동장을 재현하여 전단응력을 산정하고, 이들의 관계를 도식화하여 분석하였다. 그러나 관측한 일부 수심은 일관된 경향을 보이지 않아 해석에서 제외하였으며, 또한 8개 정점은 변화경향이 일관성을 유지하지 않아 역시 해석에서 제외하였다. 따라서 총 20개의 정점에 대한 퇴적 및 세굴에 대한 평가를 실시하였다.

표 1. 전단응력에 따른 해저고 변화율

관측정점	1	2	3	4	5	6	7	8	11	12	15	18	20	21	22	23	24	25	26	27
변화율 ($\frac{m}{N/m^2}$)	40.4	11.2	10.3	3.5	2.9	8.0	6.7	11.6	2.3	3.4	3.9	1.1	0.3	1.2	0.3	2.1	0.4	2.4	1.2	1.2

가도와 비응도를 잇는 호안 이남의 10개 정점중 8개 정점은 앞서의 상황변화에 따른 유동장과 이로 인한 해저전단응력의 변화에서 살펴본 바와 같이 시간이 경과되면서 퇴적이 진행됨을 알 수 있는데, 가장 퇴적이 심한 곳은 정점1로써 2년에 걸쳐 2m 이상의 퇴적을 보이고 있으나 이는 자연적으로 전단응력의 변화에 따른 해저지형의 변동이라기 보다는 호안 가까이에 위치한 영향으로 계절적 혹은 이상 기상 요인에 의해 호안 축조재료가 유실된 영향으로 퇴적이 심화된 것으로 판단된다. 그렇지만 이외의 정점2 - 정점8은 대체적으로 유사한 연간 20cm 내외의 퇴적률을 보이면서 지형의 변화가 나타나나 새만금방조제 축조가 진행되면서 감소된 유동의 변화에 직접적으로 영향을 받은 것으로 판단된다. 대체적인 전단응력은 0.2 - 0.15N/m² 정도에 속하면서 퇴적이 진행되는 것을 알 수 있으나, 정점6 - 정점8은 0.4 - 0.2N/m² 구간에 속하면서 퇴적이 진행되는 것을 보이고 있다.

비응도의 북측으로 이어지는 호안과의 경계에서는 외해에서 주수로로 유출입되는 강한 조류에 의하여 2N/m² 이상의 매우 강한 해저전단응력장을 형성하고 있어, 이 일대 해역에서 공사완료 후에도 세굴이 지속적으로 나타날 것으로 예측되어 그동안 주운수심 확보를 위하여 준설하였던 비경제적인 먼이 일소되는 긍정적인 환경으로의 전이가 예상된다.

3. 해저응력과 지형변화와의 관계

2년여에 걸쳐 28개 정점에 대한 지속적인 수심의 변화를 조사 분석한 결과 국부적으로 세굴과 퇴적이 뚜렷하게 나타나고 있음을 알 수 있었는데, 이와 같은 자연적인 해저지형의 변화는 일차적으로 최대 전단응력의 변화에 기인되어 나타난

북측 도류제와 남측도류제 사이의 구간에 위치한 정점20 - 정점27에서는 정도의 차이는 있으나 시간이 경과하면서 즉, 도류제가 축조되면서 지속적으로 세굴이 일어나는 것을 알 수 있는데 도류제의 서측단에 위치한 정점20 - 정점22에서는 전단응력이 0.6 - 2.0N/m²으로 매우 급격하게 증가되고 있고, 이로 인하여 세굴도 심화된다. 역시 주수로 구간에 위치한 정점23 - 정점27도 전단응력의 증가에 영향받아 세굴이 지속된다. 최소 연간 16cm, 최대 연간 97cm의 세굴이 주수로에서 관측된다.

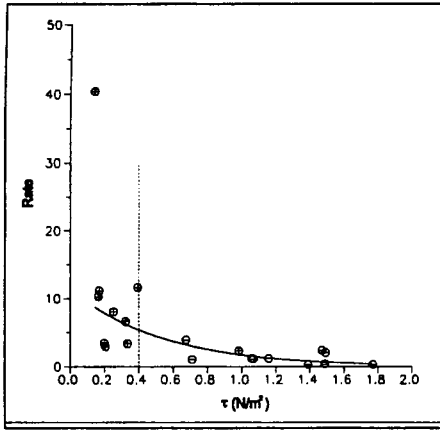


그림3. 전단응력에 대한 퇴적률 변화

퇴적의 일정한 관계식을 도출하고자 전체 정점에 대한 해저전단응력에 대한 수심의 변화를 그림3에 도시하였으며, 상관관계를 회귀분석하여 다음의 결과가 얻어졌다.

$$\Delta h = 11.46 e^{-1.89\tau}$$

여기서 Δh 는 수심의 변화(m)를 나타내고, τ 는 해저전단응력을 나타내는데, τ 가 0.4N/m²이하에서는 퇴적을 이상에서는 세굴됨을 의미한다.

4. 결론

다양한 공사가 진행되는 금강하구역에 대하여 2년여에 걸친 퇴적성향을 수심관측과 해수유동모형을 이용하여 해석한 결과, 공사로 인한 해수유동의 변화 영향으로 부분적으로 퇴적과 세굴이 뚜렷함을 알 수 있었고, 특히 도류제 구간에서는 점차 증가되는 해저전단응력에 기인되어 지속적인 세굴현상이 관찰되었다. 20개 정점에서의 퇴적성향을 전단응력과 비교한 결과 금강하구역에서의 임계전단응력은 0.4N/m²로 나타났다. 퇴적과 세굴로 인한 해저면의 변화는 $\Delta h = 11.46 e^{-1.89\tau}$ 의 관계로 변화는 것으로 나타났다.

5. 참고문헌

- 군산항건설사무소, 1988, 1989, 1991, 1992, 금강하구수리현상조사
 박원경·서승원, 1995, "대규모공사로 인한 금강하구역의 퇴적환경변화", 한국해안·해양공학회 1995년 정기학술발표회지, 44-47
 이석우, 1994; 한국항만수리지, 집문당