

방사보에 의한 토사이동 제어효과에 관한 연구

조홍제*, ○임민수**, 김일권**

1. 서론

하천에는 홍수조절, 용수개발 및 친수공간 증대를 위하여 취수보, 수중보, 방사보, 하구둑 및 댐 등과 같은 대·소규모의 수리구조물이 목적에 따라 설치되고 있다. 하류부에 설치된 수중보나 하구둑은 하도를 호수화함으로써 오염물질 퇴적에 의한 수질악화 및 생태계 단절, 퇴사에 의한 하상상승 등의 원인이 되기도 한다. 울산의 태화강 하구부와 주변일대에는 대규모의 항만시설이 설치되어 있으며 추가적인 신항만 건설계획이 추진 중에 있다. 하구에서 약 2.5km 상류에는 유입되는 토사량을 조절하여 항만내 항로수심을 유지할 수 있도록 방사보를 설치 운영 중에 있다. 울산시의 급격한 도시화에 따른 생활하수의 태화강 유입이 증대하여 태화강의 수질이 급격히 악화되고 있으며 그에 따른 수질개선 및 친수기능 증대 방안으로 방사보 철거를 고려해 볼 수 있다. 이와 같은 관점에서 방사보에 의한 토사이동 제어효과 및 하상변동을 검토할 필요가 있다고 판단된다. 방사보에 의한 토사이동에 대한 제어효과 및 하상변동 예측 등에 대한 직접적인 연구는 없으나 유권규(1993) 등이 HEC-6를 이용하여 대청댐 하류의 하상변동을 모의한 바 있다. 본 연구에서는 울산만 내 항로수심유지 목적으로 태화강 하구에서 상류 약 2.5km 지점에 1986년 설치 운영되고 있는 방사보에 의한 토사이동 제어효과 및 하류부 하상변동을 모의하기 위해 HEC-6 모형을 이용하여 유사량 공식별 방사보 유무에 따른 토사이동량, 하천 유출량 크기별 방사보 유무에 따른 토사이동량 변화를 비교 검토하였다. 유사량 공식은 Acker-White 공식과 Yang 공식을 사용하였으며, 유량은 평상시 유출량이 유입됐을 때와 평상시 유출량에 계획홍수량이 추가됐을 때의 두 가지 경우로 나누어 방사보 상하류단에서의 퇴적량 변화 및 하상변동을 모의하였다.

2. 방사보 및 하천수문특성

2.1 방사보 제원

방사보는 그림 2.1에 나타낸 바와 같이 태화강 하구에서 상류 약 2.5km 지점에 위치하며 울산시까지 하류에 위치하고 있다. 방사보의 제원은 그림 2.2와 같으며, 갈수시 조석간만차에 의한 울산 시가지내 하수도의 자연배수를 위해 그림 2.3과 같이 45m를 절개하여 운영하고 있다.

*울산대학교 토목환경공학부 교수

**울산대학교 토목환경공학부 대학원

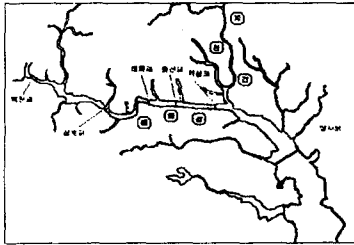


그림 2.1 방사보 위치도

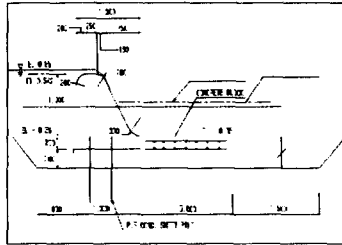


그림 2.2 방사보 제원

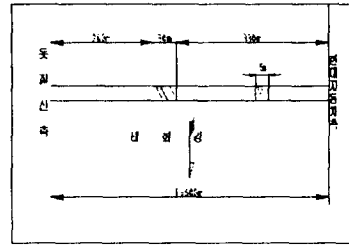


그림 2.3 방사보 45m 미시공구간 단면도

2.2 하천특성

방사보가 설치되어 있는 태화강은 유역면적이 652.4km², 유로연장 44.7km 정도의 중규모 하천으로서 하구에서 11.2km 구간은 조석간만의 영향을 받는 감소하천이며, 하천경사가 약 1/4,400로서 대단히 완만하다. 반면에 상류부는 약 1/300 이상의 비교적 급한 하상경사를 유지하고 있다.

2.3 하상토분석

방사보에 의한 토사제어효과와 하류부로의 토사이동량을 검토하기 위해 본류 및 주요지천에 대한 현장조사 및 주요지점에 대한 하상토 입경분석을 실시하였다. 감소구간 상류부의 하상은 장갑화 현상이 뚜렷하게 발달되어 있으며, 주하도구간은 호박돌, 자갈 등에 의해 구성되어 있다. 반면에 방사보 직상류에 위치한 제1지천인 동천 등은 세사에서 작은 자갈까지 폭넓게 분포하고 있다. 현하상토의 분포상태를 파악하기 위해 10개의 주요 지점에 대한 시료를 채취하여 입경분포를 분석하였으며 그 결과는 표 2.1 및 그림 2.4와 같다.

표 2.1 하상토의 입도분석

단위(mm)

위치		D35	D50	D65	D90	비고
지점	하구로부터 거리 (km)					
백천교(No.69)	13.9	0.41	0.56	0.88	1.00	태화강
구삼호교(No.56)	11.2	0.50	0.74	1.00	2.70	태화강
리버사이드호텔(No.42)	8.4	0.18	0.25	0.44	1.75	태화강
태화교(No.37)	7.4	0.69	1.05	1.90	6.00	태화강
울산교(No.32)	6.4	0.36	0.53	0.72	1.50	태화강
학성교(No.25)	5.0	0.27	0.38	0.54	1.40	태화강
방사보상류(No.12)	2.4	0.34	0.46	0.64	1.60	태화강
방사보하류(No.7)	1.4	0.18	0.29	0.42	1.00	태화강
동천교(No.96)	4.7	0.56	0.70	1.10	3.70	동천

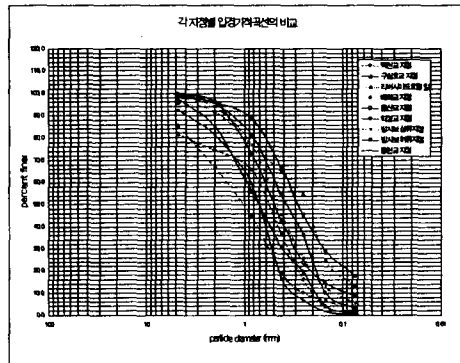


그림 2.4 각 지점별 입경가적곡선의 비교

2.4 수문자료

표 2.2 태화강 하구지점기준 연간평균유량

하도내의 토사이동량은 하천유출량의 조건에 따라 하도내의 수리학적 현상이 변화하므로 토사이동특성은 달라지게 된다. HEC-6 모형의 수문자료에서 중요한 부분을 차지하는 상류단 및 지천의 유입유량과 흐름지속기간(계산간격)은 태화강에서 관측된 유출량을 이용하여 작성된 '87 태화강 하천정비 기본계획상의 유황곡선도에 의한 평상시 유출량과 계획홍수량을 본류의 유입유량으로 하였으며, 태화강의 제1지천인 동천강도 '88 동천 하천정비 기본계획을 참고로 하여 마찬가지로 방법에 의해서 지천의 유입유량을 결정하였다. 표 2.2는 태화강 하구지점의 평상시 유출량 특성과 기존에 모의된 빈도별 계획홍수량 특성을 나타내고 있다.

유량 (m ³ /sec)	기간 (day)	하구수위 (m)
20.0	83	-0.1
45.0	56	-0.07
80.0	35	-0.06
200.0	18	-0.02
350.0	6	0.04
50.0	5	0.09
650.0	3	0.17
800.0	3	0.2
계	209	

3. HEC-6 모형

3.1 개요

HEC-6 모형은 1973년 미 공병단의 수문연구센터(U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center)의 W. A. Thomas 등에 의해 개발되었으며, 하천과 저수지에서의 상당기간에 걸친 세굴과 퇴적에 의해 하천의 종단 형태가 변화하는 것을 모의하고 추정하기 위해 개발된 1차원 이동상 개수로 흐름의 수치모형으로 연속방정식과 에너지방정식을 표준차법으로 계산하고 하상의 장감화 모의가 가능하며 유사량공식을 다양하게 선택할 수 있고, 수리량의 계산과 하상변동을 독립적으로 취급하는 비조합모형이다.

3.2 기본 방정식

이 모형의 기본가정은 우선 흐름자체는 1차원 흐름이고 하도의 어느 지점에서나 정수압이 작용한다는 것이고, 하상경사는 매우 완만하고, Manning 계수 n 값을 점변류에도 적용할 수 있으며, 이동상과 고정상으로 하천단면을 구분할 수 있으며, 단 이동상 부분의 하천단면을 전체가 일정하게 상승 또는 저하한다는 것이다. HEC-6 모형에서 사용하고 있는 기본방정식은 다음과 같다.

1차원 연속방정식은 다음과 같이 나타내고,

$$\frac{dQ}{dx} = q_1 \quad (3.1)$$

물의 에너지 방정식은 다음과 같다.

$$\left[y + \frac{aQ^2}{2gA^2} \right]_{i-1} = \left[y + \frac{aQ^2}{2gA^2} \right]_i + H_L \quad (3.2)$$

유사의 연속방정식은 다음 식으로 표시된다.

$$\frac{1}{1-\lambda} \frac{\partial Q_s}{\partial x} + B \frac{\partial Z}{\partial t} = 0 \quad (3.3)$$

여기서,

Q = 유량

q_1 = 단위폭당 측방유량

Q_s = 부피로 표시된 유사량

B = 이동상 하상의 표고 Z = 하상고 α = 속도수두의 보정계수
 A = 단면적 H_L = 단면i-1과 i사이의 수두손실 λ = 하상토의 공극률

4. 결과해석 및 검토

4.1 유사량 공식별 토사이동량 변화

한국건설기술연구원(1989)의 “하천유사량 산정방법의 선정기준 개발”에 관한 연구보고서를 참고로 하여 하상토의 대부분이 모래와 가는 자갈로 구성되어 있는 하천에서 비교적 유사량 산정결과가 양호하다는 Acker-White 공식과 Yang 공식을 선정하여 본 연구의 대상지역인 태화강 하천에 적용하였으며, 각 유사량 공식별 방사보 유무에 대한 토사이동량 변화를 HEC-6 모형을 이용하여 모의하였다.

4.1.1 평상시 유출량을 유입유량으로 사용했을 때

표 2.2와 같은 평상시 유출에 대한 토사의 이동량을 Acker-White 공식 및 Yang 공식을 이용하여 모의하였다. 그 결과 하구로부터 약 2.5km 상류에 위치한 방사보직상류(No.12번 기준)지점은 방사보에 의해 Acker-White 공식은 약 120,593m³/year, Yang 공식은 약 149,816m³/year의 토사가 방사보가 없을 때보다 더 퇴적되는 것으로 나타났다. 그림 4.1과 그림 4.2는 각각 평상시 유출량을 HEC-6 모형의 유입유량으로 입력했을 때의 Acker-White 공식과 Yang 공식을 이용한 방사보 유무에 따른 누가퇴적량의 비교 결과를 나타내고 있다.

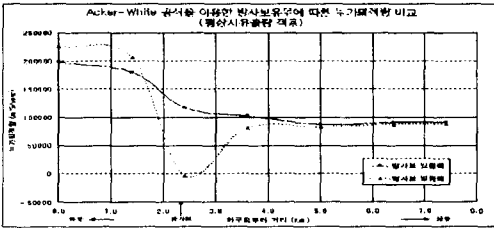


그림 4.1 Acker-White 공식을 이용한 방사보 유무에 따른 누가퇴적량 비교 (평상시 유출량 적용)

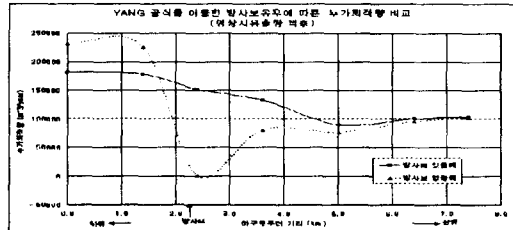


그림 4.2 Yang 공식을 이용한 방사보 유무에 따른 누가퇴적량 비교 (평상시 유출량 적용)

그림 4.3은 방사보가 있고 평상시 유출량을 유입유량으로 사용했을 때의 하상변동에 대한 모의결과를 나타내고 있다. 그림 4.3에서와 같이 Acker-White 공식과 Yang 공식에 의한 하상변동은 방사보 하류단에서 하구까지는 초기하상보다 약 0.4ft 정도 낮아졌고, 방사보 직상류단에서부터 상류로 약 1.5km 구간까지는 하상이 높아진 것을 알 수 있었다. 이것은 퇴적량의 증가로 하상고가 높아진 것을 의미한다. 따라서 방사보의 원래 목적인 방

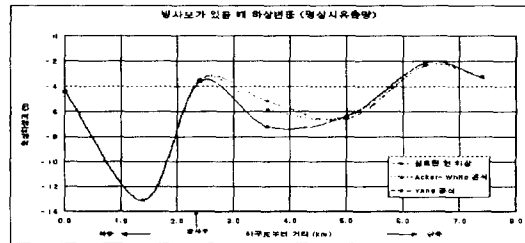


그림 4.3 방사보가 있을 때 하상변동 (평상시 유출량 적용)

사보 하류단의 퇴적량을 줄여 항로수심을 유지할 수 있는 것으로 판단되었다.
 참고로 그림상에서 누가퇴적량의 부호가 (-)이면 세굴, (+)이면 퇴적을 의미한다.

4.1.2 평상시 유출량에 홍수유출량을 추가하여 유입유량으로 사용했을 때

자연계에서 발생하는 홍수시의 상황을 모의하기 위해서 평상시 유출량에 홍수유출량을 추가하여 유입유량으로 사용하였다. 이 경우에는 평상시 유출량만을 적용했을 때보다 크게 다른 양상을 나타내었다. 그림 4.4와 그림 4.5는 각각 Acker-White 공식과 Yang 공식을 이용한 방사보 유무에 따른 누가퇴적량의 비교를 나타내고 있다. 하구를 기준으로 방사보 유무에 따라 Acker-White 공식은 약 60,000³/year~100,000m³/year정도의 퇴적량이 발생하였고, Yang 공식은 약 200,000m³/year 정도의 퇴적량이 발생하였다.

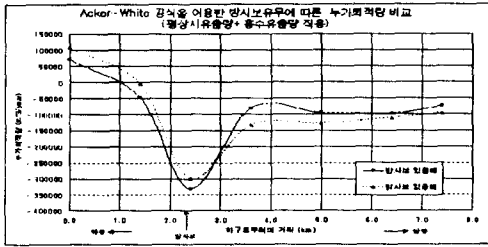


그림 4.4 Acker-White 공식을 이용한 방사보 유무에 따른 누가퇴적량의 비교 (평상시 유출량+홍수유출량 적용)

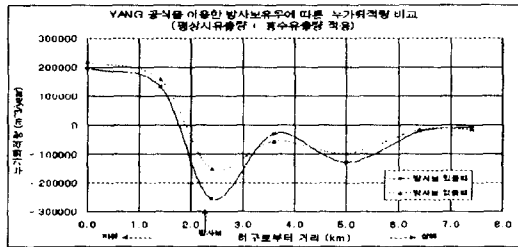


그림 4.5 Yang 공식을 이용한 방사보 유무에 따른 누가퇴적량 비교 (평상시 유출량+홍수유출량 적용)

두 공식 모두 방사보 상하류단에서 많은 세굴이 일어났으며 특히 방사보 직상류단에서 방사보가 없을 때보다 방사보가 있을 때 더 많은 양의 세굴이 일어났다. 이것은 홍수량으로 인하여 유속과 유량의 증가로 하천 유사가 퇴적될 시간적 여유가 없었거나 퇴적됐다가도 곧바로 세굴이 일어나는 등 아주 불규칙한 변동의 결과로 판단된다. 참고로 그림 4.6은 Yang 공식에 의한 평상시 유출량과 평상시 유출량에 홍수유출량을 추가로 사용했을 때의 방사보가 있을 때의 유속변화를 나타내고 있다. 그림 4.6에서 나타낸 바와 같이 방사보직상류에서 평상시 유출량에 홍수유출량을 추가로 사용했을 때의 유속이 평상시 유출량만을 사용했을 때의 유속보다 월등히 크게 나타났다. 따라서 유속의 증가에 의해서 퇴적이 감소되고 세굴이 증가된 것임을 알 수 있었다. 이와 같은 경우에는 방사보의 본래 기능을 할 수 없는 것으로 판단되었다.

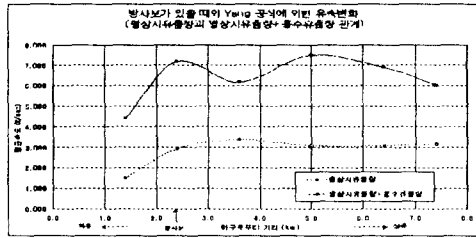


그림 4.6 방사보가 있을 때의 Yang 공식에 의한 평균유속 변화 (평상시 유출량과 평상시 유출량+홍수유출량 적용)

4.1.3 유사량 공식별 누가퇴적량 비교

방사보 상하류단에서는 방사보 유무에 관계없이 대체적으로 Yang 공식에 의한 퇴적량이 Acker-White 공식에 의한 퇴적량보다 좀 더 크게 계산된 것을 알 수 있었다. 그림 4.7과 그림 4.8은 유사량 공식별 누가퇴적량 변화에 대한 비교를 방사보 유무에 따라 나타내고 있다.

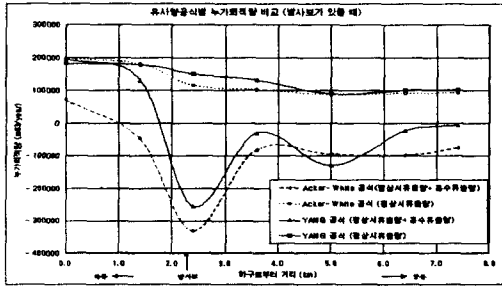


그림 4.7 유사량 공식별 누가퇴적량 비교
(방사보가 있을 때)

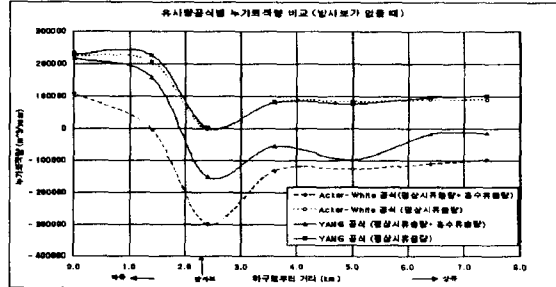


그림 4.8 유사량 공식별 누가퇴적량 비교
(방사보가 없을 때)

5. 결론

본 연구에서는 하천 하류부에 설치된 방사보에 의한 토사이동 제어효과를 Yang 공식과 Acker-White 공식을 이용하여 검토하였다. 유출량은 유황곡선에 따른 평상시 유출량과 100년빈도 홍수유출량을 적용하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 평상시 유출량을 유입유량으로 사용했을 경우에는 방사보 상류단에서는 퇴적량이 증가하고 방사보 하류단에서는 퇴적량이 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 평상시유출량에 대한 방사보의 토사이동 제어효과는 큰 것으로 판단되었다.
- (2) 평상시 유출량에 홍수유출량을 추가하여 유입유량으로 사용했을 경우에는 방사보 상하류단에서 많은 세굴이 일어났으며, 특히 방사보 상류단에서는 방사보가 있을 때가 없을 때보다 더 많은 세굴이 발생했다. 따라서 홍수유출량에 대한 방사보의 토사이동 제어효과는 거의 없는 것으로 판단되었다.
- (3) 유출량의 변화에 따른 방사보 상하류단에서의 유속변화가 퇴적량의 변화에 많은 영향을 주는 것으로 판단되었다.
- (4) 대체적으로 Yang 공식이 Acker-White 공식보다 퇴적량이 크게 계산되었다.

6. 참고문헌

- 건설부 (1987). "태화강 하천정비 기본계획".
 건설부 (1988). "동천 하천정비 기본계획".
 한국건설기술연구원 (1991). "하상변동 예측모형의 비교분석." 연구보고서.
 한국건설기술연구원 (1989). "하천유사량 산정방법의 선정기준 개발." 연구보고서.
 유권규, 우효섭 (1993). "HEC-6를 이용한 대청댐 하류의 하상변동예측." 대한토목학회논문집, 제13권, 제5호, pp. 157-163.