

섬진강 하구에서 조위 영향을 고려한 홍수예보시스템 검토



윤강훈 >>
한국건설기술연구원 수석연구원, 공학박사

1. 서론

섬진강 하류는 남해의 조위영향으로 하천 흐름이 매우 복잡한 양상을 띠고 있다. 이와 같은 조위영향은 평상시 뿐만 아니라 홍수시에도 큰 영향을 미치므로 홍수예측시 고려해야 하는 중요한 항목이나 지금까지는 충분한 조석자료의 확보와 수리계측이 어려워 홍수예측 시스템에 적용하지 못하고 있었다. 따라서, 본 연구에서는 기존의 섬진강 홍수예보 시스템에 조위영향을 반영할 수 있는 방안을 연구 검토하고자 한다.

2. 본론

홍수예보 시스템에 있어서 일반적인로 조위영향을 반영하는 연구는 그림 1

과 같은 흐름도에 의한다. 본 연구에서는 섬진강 하구의 조위자료를 수집하고 조위영향에 따른 하류단 경계조건을 검토하여 조위를 고려한 홍수유출모형에 대하여 조사하였다. 연구에 앞서 섬진강하구 지점에 대한 조위관측치와 설계조위자료를 수집하였다. 수집된 자료를 바탕으로 섬진강 홍수예보시스템 홍수유출 모형에서 조위의 시간적 영향을 고려할 수 있는 방안을 모의하기 위해 하류고정단의 경계조건을 기 선정 한뒤 HEC-RAS 모형으로 조위의 영향이 미치는 영향권을 검토하였다. 또한, 섬진강 홍수예보시스템의 주요 예보 지점인 하동 지점에 조위가 어떠한 영향을 미치는지 검토하였다.

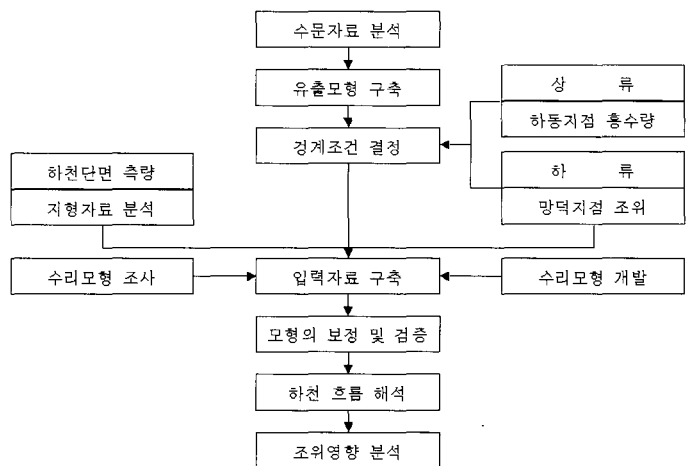


그림 1. 조위영향 평가 흐름도

2.1 섬진강 하구의 조위자료 검토

2.1.1 하구의 설계조위자료 수집 및 검토

섬진강 하구의 조위 자료를 수집하기 위하여 하류 단에 위치한 검조소를 파악하였으며, 섬진강 하류에서

는 그림 2와 같이 망덕, 광양항, 부지북서 및 부지북동 등의 4개 검조소에서 조위를 측정하고 있다. 표 1에는 섬진강 하구 및 인근의 홍수량 변화에 따른 조위 상승량을 수록하였다.

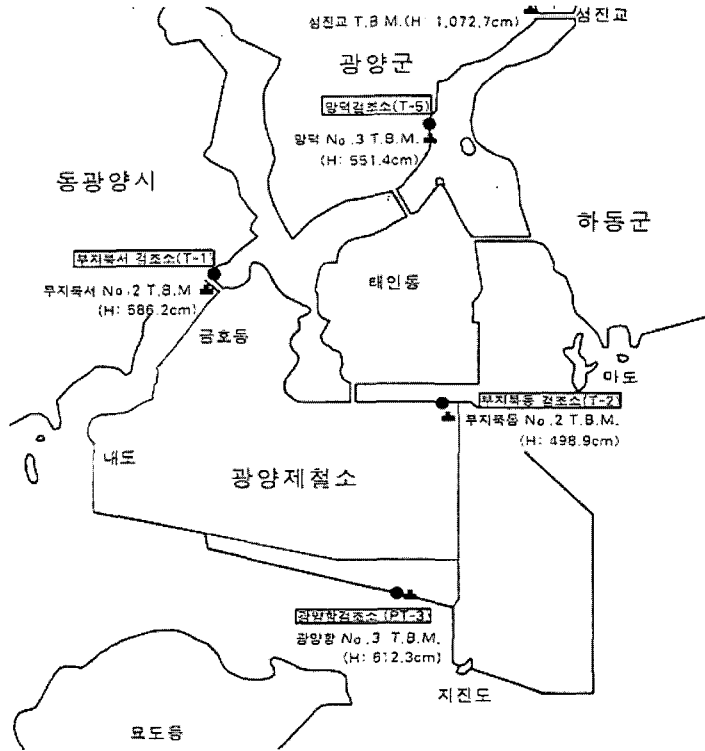


그림 2. 섬진강 하구에 위치한 검조소 위치도

표 1. 섬진강 하구 및 인근의 홍수량 변화에 따른 조위 상승량

하천유량(cms)	광양항 검조소		부지 북서 검조소		부지 북동 검조소		망덕 검조소	
	조위	편차	조위	편차	조위	편차	조위	편차
평상시	369	-	376	-	371	-	376	-
1,200	373	4	381	5	376	5	381	5
2,400	373	4	381	5	376	5	382	6
3,600	373	4	383	7	376	5	387	11
4,800	372	3	384	8	375	4	399	23
6,000	372	3	387	11	376	5	415	39
7,200	372	3	392	16	376	5	438	62
8,400	371	2	398	22	377	6	464	88
9,600	371	2	406	30	383	12	483	107
10,800	371	2	415	39	390	19	508	132
12,000	371	2	425	49	397	26	538	162

2.2 조위 영향에 따른 하류단 경계조건 검토

2.2.1 조위의 시간적 영향을 고려한 홍수유출모형

남해안에서 발생하는 조위의 섬진강 본류부에 대한 영향을 상류단에서의 홍수량과 연계하여 살펴보기 위해서는 대상구간에 대한 1차원 수리학적 모형을 구축해야 한다. 국내에서는 조위의 영향분석을 위해 미국 기상청(NWS, National Weather Service)에서 개발한 수리학적 홍수추적모형인 DWOPER 모형을 경계조건에 맞도록 개선한 것을 기본모형으로 한 바 있다(해양수산부, 2001).

하지만 본 연구에서는 섬진강 유역 자료의 부족으로 조위의 시간적 영향을 고려할 수 있는 모형을 선택하는데 어려움이 있었다. 이에 섬진강 본류에 조위 영향을 미치는 대상구간을 파악하고 그 영향의 정도를 통계학적인 기법을 통하여 하상단면자료와 상하류 단 경계조건을 이용한 간략법을 이용하여 조위영향을 검토하였다.

2.2.2 상류경계조건 및 설계최대조위의 하류경계 조건으로의 적용

섬진강 하동 지점의 홍수량과 최하류단인 망덕 검조소에서 만조위 높이에 따라 섬진강 본류의 조위영향을 분석하기 위하여는 하동 지점의 홍수량 및 망덕 지점의 만조위에 대한 경계조건을 지정하여야 한다.

하동 지점에서의 홍수유출량을 고려하기 위해서는 여러 가지 분석을 통하여 빈도별 설계홍수량을 산정하여야 하나, 이는 이번 연구의 수행범위를 벗어나므로 기존의 섬진강 하천정비 기본계획(1989)에 설계되어 있는 설계홍수량을 기준으로 50년 빈도 설계홍수량의 약 40%에 해당하는 약 5,000cms에서 50년 빈도 설계홍수량인 12,000cms의 8가지 유량등급을 나누어 표 2와 같이 홍수량을 고려하였다.

하류 경계조건을 적용하기 위하여 앞서 수집한 조위자료를 검토하였으며 하류고정단 경계조건으로 활용할 수 있도록 시간별 하구 수위를 반영하려 하였다. 그러나 조위의 시간적 변화를 고려하려면 여러

표 2. 상류 경계조건(하동 지점, cms)

설계홍수량 (섬진강하천정비기본계획)		본 연구의 홍수량	
50년 빈도	12,370	1 단계	5,000
80년 빈도	13,480	2 단계	6,000
100년 빈도	14,010	3 단계	7,000
150년 빈도	14,960	4 단계	8,000
200년 빈도	15,530	5 단계	9,000
-	-	6 단계	10,000
-	-	7 단계	11,000
-	-	8 단계	12,000

표 3. 하류 경계조건(m)

망덕 지점 조위					
0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
0.2	1.2	2.2	3.2	4.2	5.2
0.4	1.4	2.4	3.4	4.4	5.4
0.6	1.6	2.6	3.6	4.6	5.6
0.8	1.8	2.8	3.8	4.8	5.8

가지 복잡하고 어려운 부가적인 연구가 수행되어야 하므로 본 연구에서는 섬진강 하구 망덕 지점의 설계 최대조위를 하류 경계조건으로 적용하였으며 0.0~5.8m 사이의 조위를 0.2m 간격으로 표 3과 같이 하류경계조건을 변화시켰다.

2.3 조위를 고려한 홍수유출모형의 검토

2.3.1 하천의 조위영향권 검토

섬진강 본류의 하천 조위 영향권을 검토하려면 우선 본류의 주요 수위표 지점 수위 및 수문곡선을 살펴봐야 하며, 표 4에서 알 수 있는 바와 같이 섬진강의 최하류에 위치한 하동 지점이 조위의 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 본 연구에서는 하동 지점 상류의 조위영향권을 조사하기 위하여 HEC-RAS 모형을 이용한 정상류 수면형 계산을 통해 하구 지점의 조위에 따른 수위 변화를 조사하였다.

하동 지점의 홍수량을 홍수기때 빈번히 발생하는 홍수량인 약 5,000cms를 기준으로 HEC-RAS 모형의 조위 조건을 0.0~5.8m까지 0.2m 간격으로 수행하였

다. 그 결과 홍수량을 5,000 및 10,000cms로 고정했을 때 하구로부터의 거리별 조위에 따른 수위차는 표 4와 같다. 홍수량이 5,000cms 일 경우 하구로부터 약 15km 떨어진 지점(하동 목자판 수위표)에서는 조위가 0.0m일 때와 5.8m일 때의 수위차가 약 2.6m 임을 알 수 있었으나, 약 30km인 지점에서는 약 0.1m의 차이로 조위별 수위차가 미미하였다. 홍수량이 10,000cms 일 경우 앞의 결과와 마찬가지로 약 15km 떨어진 지점까지는 조위가 0.0m일 때와 5.8m일 때의 수위차가 있지만 그 보다 멀어질수록 수위차가 작아짐을 알 수 있다. 또한, 두 경우를 비교하면 홍수량이 커질수록 조위에 대한 영향은 작아짐을 알 수 있다.

이상의 분석 결과로부터 조위영향 구간은 하구로부터 상류쪽으로 약 25km 까지 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 홍수량이 적을수록 조위가 높을 때 영향을 받는 것으로 나타났다. 표 4와 표 5는 본류의 4개 지점(하구기준 15, 20, 25, 30km)을 고정시키고

조위가 없을 때 및 5.8m(만조 가정)일 때의 경우에 따른 홍수량별 수위차를 나타낸 것이다. 표 4에서 하동 지점은 조위별 수위차가 큼을 알 수 있고, 표 5에서 30km 지점은 홍수량에 관계없이 조위에 따른 수위차가 약 0.1m 미만임을 알 수 있었다. 또한, 표 4~표 5를 통하여 섬진강 본류는 하구를 기준으로 약 25km까지 조위영향을 받고 있음을 알 수 있다.

2.3.2 하동 지점의 조위영향 검토

전 절의 분석결과 하동 지점의 홍수유출량과 남해의 조위 사이에는 연관성이 있음을 알 수 있었다. 하동 지점을 기준으로 5,000cms의 홍수량 경우는 조위변화에 따라 약 2.4m의 수위가 변화할 수 있는 것으로 나타났으며, 홍수량이 커질수록 그 범위는 작아지는 것을 알 수 있었다. 표 6~표 7 및 그림 3은 망덕기점 조위에 따른 홍수량별 하동 지점의 수위변화를 나타내고 있다.

표 4. 조위에 따른 지점별 수위차

조위(0.0~5.8m)에 따른 수위차			
하동지점 홍수량(cms)		5,000	10,000
측점 하구로부터 거리	5.10km	4.80m	3.56m
	10.43km	3.86m	2.27m
	15.08km	2.64m	1.16m
	19.98km	1.23m	0.52m
	25.08km	0.42m	0.19m
	30.16km	0.11m	0.05m

주) 홍수량이 클수록 수위차가 적어지는 것은 홍수파로 인하여 조위의 영향이 감소되는 것임.

표 5. 조위에 따른 홍수량별 수위차

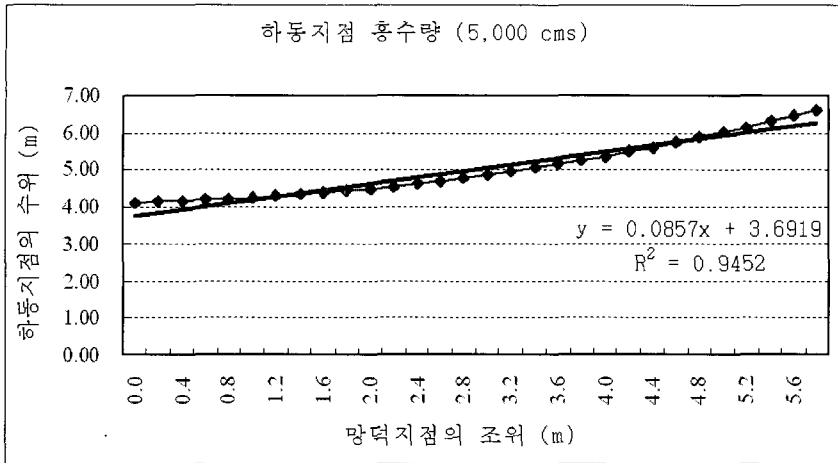
분류	조위차(5.8m)에 의한 수위차			
	1	2	3	4
지점 번호	15km	20km	25km	30km
홍수량 (cms)	5,000	2.64m	1.23m	0.11m
	6,000	2.26m	0.99m	0.09m
	7,000	1.92m	0.82m	0.31m
	8,000	1.62m	0.67m	0.26m
	9,000	1.39m	0.58m	0.24m
	10,000	1.16m	0.52m	0.19m
	11,000	1.00m	0.45m	0.22m
	12,000	0.87m	0.40m	0.17m

표 6. 홍수량별 하동 지점(No. 15+500 : 목자판)의 수위 변화

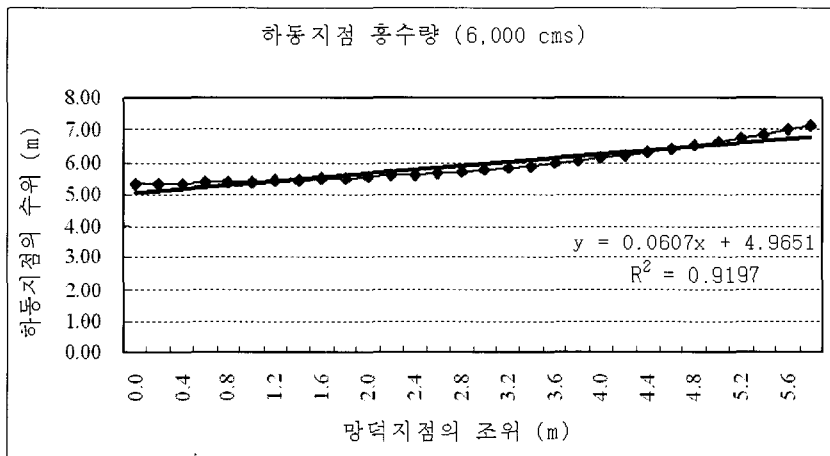
홍수량 (cms) 조위(m)	5,000	6,000	7,000	8,000	9,000	10,000	11,000	12,000
0.0	4.12	4.70	5.30	5.89	6.46	7.03	7.53	7.99
0.2	4.14	4.72	5.31	5.90	6.47	7.04	7.53	7.99
0.4	4.16	4.75	5.32	5.91	6.48	7.05	7.54	8.00
0.6	4.19	4.77	5.33	5.91	6.49	7.05	7.55	8.00
0.8	4.22	4.79	5.35	5.93	6.50	7.09	7.55	8.01
1.0	4.26	4.82	5.37	5.94	6.51	7.10	7.57	8.02
1.2	4.30	4.85	5.39	5.96	6.53	7.10	7.58	8.03
1.4	4.34	4.88	5.42	5.99	6.54	7.12	7.59	8.03
1.6	4.39	4.91	5.45	6.01	6.56	7.14	7.60	8.04
1.8	4.44	4.95	5.48	6.04	6.59	7.15	7.61	8.05
2.0	4.49	5.00	5.52	6.06	6.61	7.17	7.63	8.06
2.2	4.55	5.05	5.56	6.10	6.62	7.19	7.65	8.07
2.4	4.62	5.10	5.59	6.14	6.66	7.21	7.67	8.08
2.6	4.69	5.16	5.64	6.18	6.70	7.23	7.66	8.10
2.8	4.77	5.22	5.69	6.22	6.75	7.26	7.73	8.12
3.0	4.86	5.28	5.73	6.26	6.79	7.29	7.75	8.14
3.2	4.96	5.35	5.80	6.30	6.83	7.33	7.78	8.17
3.4	5.05	5.43	5.88	6.36	6.88	7.37	7.82	8.21
3.6	5.15	5.51	5.94	6.43	6.95	7.42	7.85	8.24
3.8	5.25	5.62	6.02	6.48	7.01	7.46	7.89	8.28
4.0	5.37	5.70	6.11	6.57	7.04	7.52	7.94	8.32
4.2	5.49	5.81	6.19	6.66	7.12	7.57	7.99	8.37
4.4	5.61	5.92	6.29	6.74	7.18	7.63	8.04	8.40
4.6	5.74	6.03	6.38	6.83	7.26	7.69	8.06	8.45
4.8	5.87	6.14	6.48	6.90	7.34	7.75	8.13	8.50
5.0	6.02	6.29	6.61	6.99	7.39	7.83	8.18	8.54
5.2	6.15	6.42	6.72	7.10	7.49	7.90	8.23	8.60
5.4	6.31	6.56	6.84	7.21	7.58	7.97	8.27	8.65
5.6	6.48	6.70	6.95	7.28	7.64	8.02	8.35	8.71
5.8	6.63	6.83	7.08	7.38	7.75	8.08	8.44	8.78

표 7. 홍수량별 하동 지점(No. 15+080 : T/M 관측소 앞측점)의 수위 변화

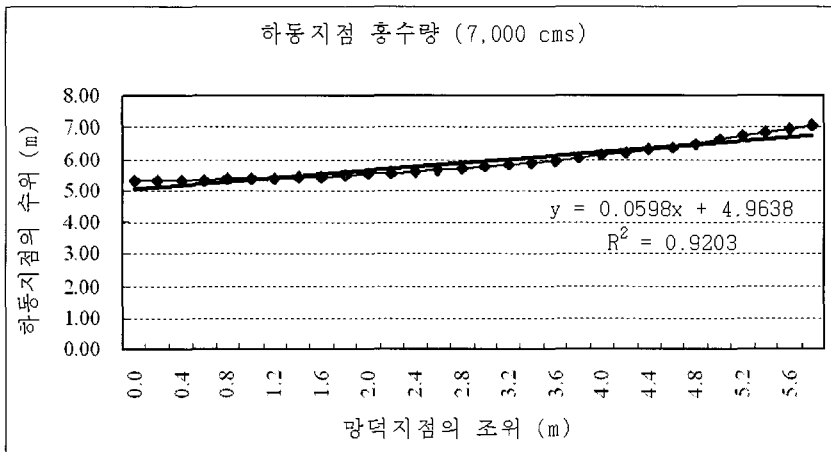
홍수량 (cms) 조위(m)	5,000	6,000	7,000	8,000	9,000	10,000	11,000	12,000
0.0	3.93	4.49	5.06	5.66	6.25	6.84	7.34	7.80
0.2	3.95	4.50	5.08	5.67	6.25	6.84	7.35	7.81
0.4	3.97	4.53	5.09	5.68	6.27	6.85	7.35	7.81
0.6	4.00	4.56	5.11	5.68	6.28	6.85	7.36	7.82
0.8	4.04	4.58	5.12	5.70	6.29	6.90	7.37	7.83
1.0	4.08	4.61	5.15	5.72	6.31	6.91	7.39	7.84
1.2	4.12	4.64	5.17	5.74	6.32	6.91	7.40	7.85
1.4	4.17	4.68	5.21	5.77	6.34	6.93	7.41	7.85
1.6	4.22	4.72	5.24	5.79	6.36	6.95	7.43	7.87
1.8	4.28	4.76	5.27	5.82	6.39	6.96	7.44	7.89
2.0	4.34	4.81	5.31	5.85	6.41	6.99	7.45	7.91
2.2	4.40	4.87	5.35	5.89	6.43	7.01	7.47	7.92
2.4	4.48	4.92	5.39	5.94	6.47	7.03	7.49	7.94
2.6	4.56	4.99	5.44	5.98	6.51	7.05	7.49	7.97
2.8	4.64	5.05	5.50	6.03	6.57	7.08	7.56	7.99
3.0	4.74	5.12	5.56	6.08	6.61	7.12	7.58	8.01
3.2	4.84	5.20	5.62	6.13	6.66	7.16	7.61	8.05
3.4	4.93	5.29	5.71	6.19	6.72	7.21	7.65	8.09
3.6	5.05	5.38	5.78	6.26	6.79	7.26	7.69	8.12
3.8	5.15	5.49	5.87	6.33	6.85	7.31	7.74	8.16
4.0	5.27	5.57	5.97	6.43	6.89	7.37	7.78	8.20
4.2	5.40	5.69	6.05	6.52	6.97	7.43	7.84	8.25
4.4	5.53	5.80	6.15	6.60	7.04	7.49	7.90	8.28
4.6	5.66	5.92	6.25	6.70	7.12	7.55	7.96	8.33
4.8	5.80	6.04	6.36	6.77	7.20	7.62	8.02	8.38
5.0	5.95	6.19	6.50	6.87	7.27	7.70	8.07	8.43
5.2	6.09	6.33	6.61	6.98	7.37	7.78	8.13	8.49
5.4	6.24	6.48	6.74	7.11	7.47	7.85	8.17	8.53
5.6	6.42	6.63	6.85	7.17	7.53	7.91	8.25	8.60
5.8	6.57	6.75	6.98	7.28	7.64	8.00	8.34	8.67



(a) 하동지점 홍수량 5,000cms

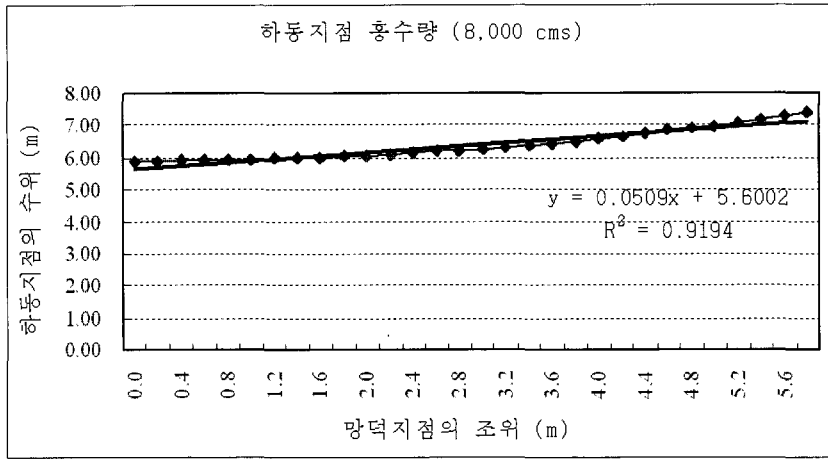


(b) 하동지점 홍수량 6,000cms

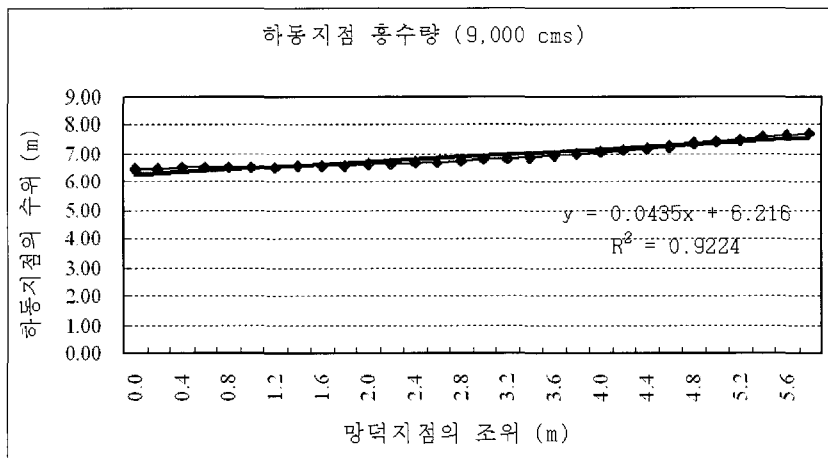


(c) 하동지점 홍수량 7,000cms

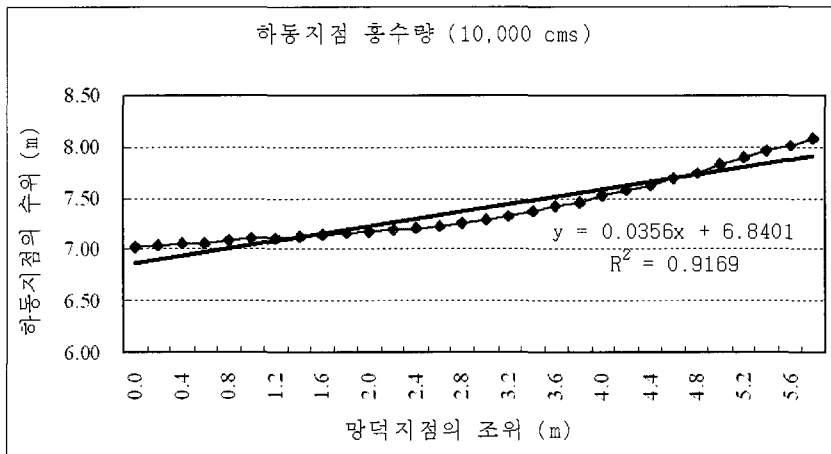
그림 3. 조위에 따른 홍수량별 하동 지점 수위 변화



(d) 하동지점 홍수량 8,000cms

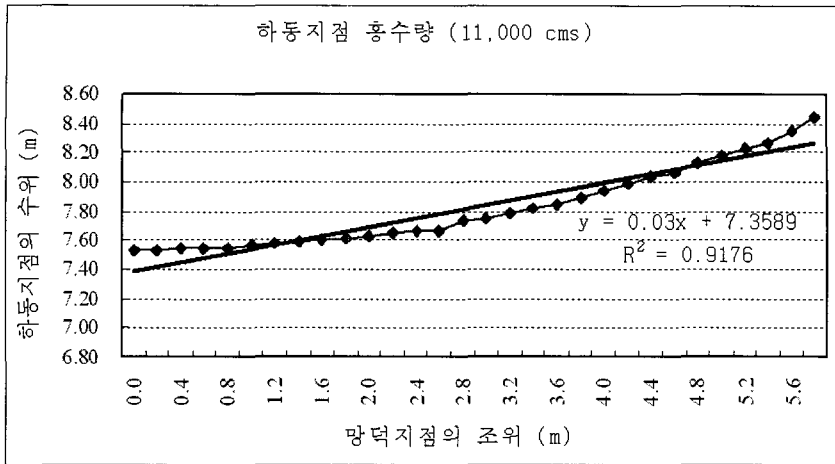


(e) 하동지점 홍수량 9,000cms

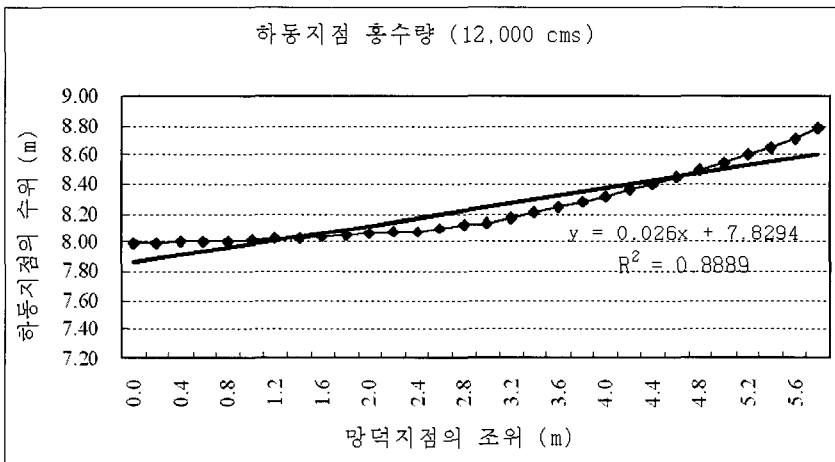


(f) 하동지점 홍수량 10,000cms

그림 3. 조위에 따른 홍수량별 하동 지점 수위 변화(계속)



(g) 하동지점 홍수량 11,000cms



(h) 하동지점 홍수량 12,000cms

그림 3. 조위에 따른 홍수량별 하동 지점 수위 변화(계속)

그림 3은 조위에 대한 유량별 하동 지점 수위를 조위별 유량별로 단순회귀분석한 결과이며, 그림 3에서 알 수 있는 바와 같이 유량별로 수위차는 있으나 조위가 높아짐에 따라 수위가 선형적으로 변함을 알 수 있다.

3. 결론

홍수시 조위 변화에 따른 하천의 수위변화를 파악하기는 대단히 어려우며, 이는 홍수파와 조위의 변화가

모두 부동류이기 때문이다. 따라서, 본 연구에서는 조위의 영향을 받는 하천구간의 홍수량 변화 및 조위 변화에 따른 하천수위의 변화를 분석하기 위하여 HEC-RAS 모형 결과를 비교하였고, SPSS(Statistical Package for the Social Science)를 이용하여 하천 수위를 종속변수, 하천유량과 망덕지점의 조위를 독립변수로 하는 다중회귀분석을 실시하였다. 그 결과는 식 1과 같다.

$$h = 1.705 + 0.4681 \times Q + 0.273T_h \quad (1)$$

여기서, h 는 하동 지점의 하천수위(m), Q 는 하동 지점을 통과하는 유출량으로 실무에서는 하동 지점의 예측홍수량(홍수유출 모형을 모의한 결과, m^3/sec), T_h 는 해당시간 망덕 지점의 조위(m)이다. SPSS에서 다중회귀분석을 실시한 결과 $R=0.965$ 이었다.

본 연구의 결과는 지금까지 고려하지 못하였던 홍수시 조위 영향을 홍수예보 시스템에 반영하는 방안을 제시하고 있으며, 제시된 회귀식을 시스템에 반영하여 향후 보다 정도 높은 홍수예보가 가능할 것으로 기대 된다.

감사의 말씀

본 연구는 건설교통부 수자원국의 '섬진강 홍수예보 정보 전산프로그램 개선 및 매개변수 조정' 학술연구 용역으로 수행되었으며, 정부의 지원과 관심에 감사드립니다.

참고문헌

- 건설교통부 (2003), 섬진강 홍수예보정보 전산프로그램 개선 및 매개변수 조정, pp. 279-291.
- 해양수산부(2001), 한강·임진강 유역에 대한 조위영향 연구.
- 건설부 (1989), 섬진강 하천정비기본계획