

HEC-HMS/HEC-RAS를 이용한 수영강 홍수 영향 분석 연구

Flood Influence Analysis on SUYOUNG River Based on HEC-HMS/HEC-RAS

신현석* / 전성우** / 서봉철**

1. 서론

수영강은 부산 제1의 중형하천으로서 상류에는 산악 및 농경지, 식수 전용 회동댐이 존재하며 하류는 완전히 도시화된 유역으로 남해와 닿아 있다. 최근 수년간 수영강 유역은 고도의 도시화 및 개발로 인하여 지형 및 유출 특성의 변동이 심하며, 수영강 본류에는 9개의 교량이 설치되어 상류로의 배수효과로 인한 잦은 홍수를 경험하고 있다. 특히 91년 Gladys 태풍으로 인하여 일대의 침수 및 내수 배제 불량으로 인한 막대한 피해를 경험하였다. 본 연구에서는 하천의 홍수 영향 검토를 위하여 HYDROFRQ / HYDROGIS / HEC-HMS / HEC-RAS 모형의 Linking을 통한 통합 홍수관리 모형을 제시하고자 한다. 이때, (1) HYDROFRQ는 기상/수문 자료의 기초 통계 및 빈도 분석을 위하여 부산대학교 수자원 연구실에서 Matlab Base로 개발되었으며, (2) HYDROGIS는 유역의 지형/수문학적 자료의 구축 및 하도 침수 구역의 설정을 위한 GIS Base 모듈이고, (3) 미공병단의 HEC-HMS 모형을 이용한 유역 유출 특성의 분석, (4) HEC-RAS를 이용한 하도 홍수위 분석, 하도 구조물 해석 및 세굴 영향 분석을 수행한다. 통합 모형의 구조는 그림 1과 같다.

본 연구에서는 위의 홍수 분석 통합 모형중 HEC-HMS 및 HEC-RAS를 이용한 수영강의 홍수위 분석 및 복잡한 하도내 교량에 의한 홍수 영향 분석을 수행하는 데 그 목적이 있다.

2. 적용모형의 개요

2.1 HEC-HMS

미공병단의 HEC-HMS모형은 강우에 의한 유역의 지표면 유출을 모의하기 위해 강우·유출 현상의 수리, 수문학적 과정을 상호 연결하여 유역의 응답을 나타내도록 설계된 모형으로 각 수리, 수문학적 과정은 일반적으로 소유역이라 불리는 유역 일부에서의 강우·유출과정을 모형화하며, 각 과정은 지표면 유출이나 하도유출, 저수지 유출 등을 모의하게 된다. 또한, HEC-HMS모형은 기존의 HEC-1모형과 비교하여 입출력 자료의 GIS 작업 가능, User Interface화, 다중작업수행, GIS자료를 이용한 분포형 모형개념의 도입, 빈도강우의 형성 및 모의 등의 다양한 측면에서 보완된 모형이다.

2.2 HEC-RAS

미 공병단의 HEC-RAS모형은 자연하천이나 인공 하천에서의 정상류 상태의 점변류 수면곡선을 계산하기 위해 개발되었다. 이 모형은 상류와 사류상태의 수면곡선의 계산이 가능하며, 교량이나 암거 등의 하천구조물로 인한 수면곡선의 변화를 알아낼 수가 있다. 계산절차는 표준축차법(Standard Step Method), 즉 Manning 공식에 의해서 산정된 마찰에 의한 손실을 고려한 일차원 에너지 방정식의 수치해에 근거를 두고 있다. 또한, 하도내 교량, 암거 및 구조물의 영향 분석을 수행할 수 있으며, 수리 분석으로 교량의 수축 및 국부 세굴을 산정하고 도시하여 준다. 결과는 2-D 내지는 3-D로 화면 출력이 가능하며 사용자가 사용이 용이하도록 되어 있다.

* 부산대학교 토목공학과 조교수

** 부산대학교 토목공학과 석사 과정

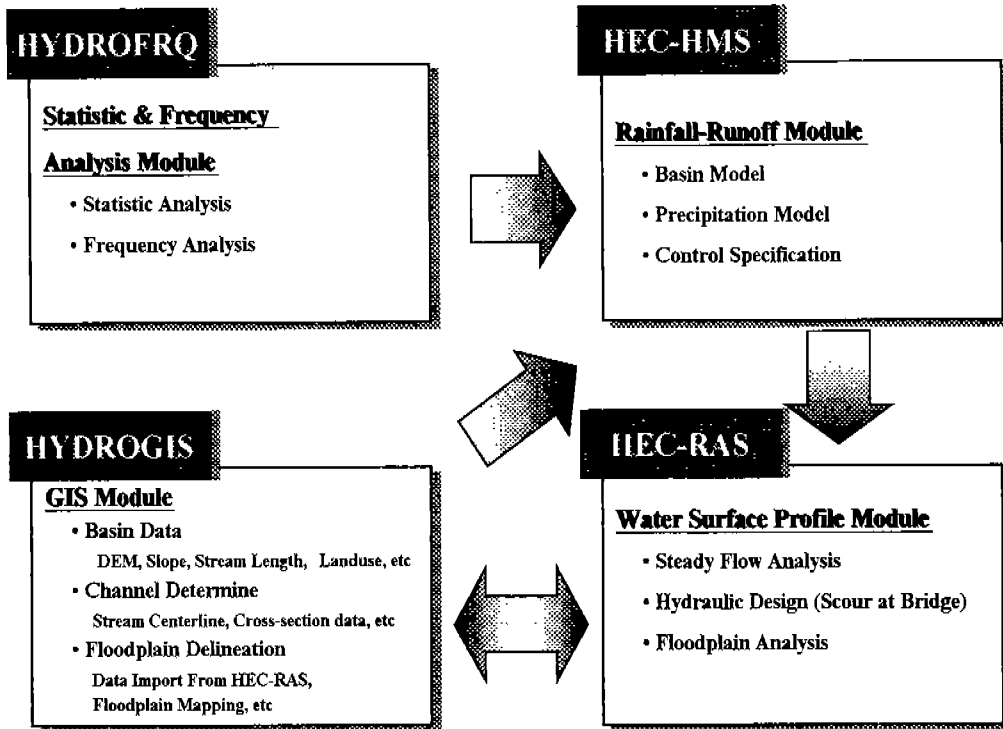


그림 1. 하천 홍수 해석을 위한 통합 모형 개요도

HEC-HMS에서 산정된 빈도별 유출량을 상류단 경계조건으로 입력하고, 하류단 경계조건으로는 부산항의 약최고만조위를 육상기준으로 환산한 값을 입력하였다. 그림 2에서는 HEC-HMS모형과 HEC-RAS모형을 이용한 유출·수리분석의 절차를 나타내고 있다.

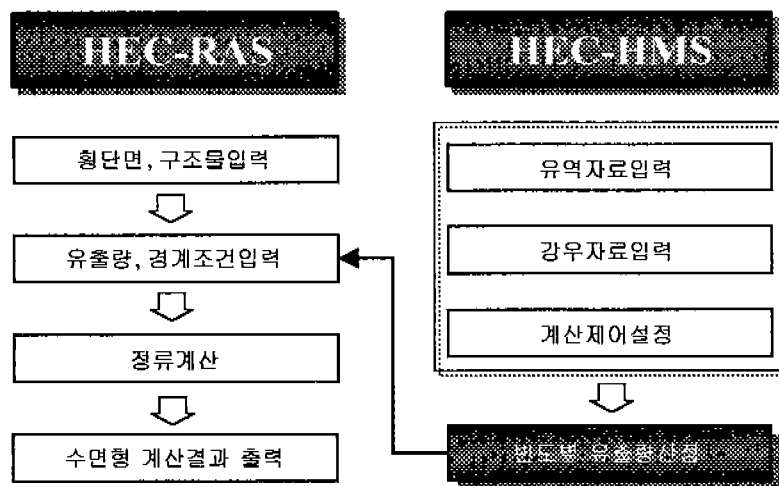


그림 2. 유출분석 및 수리분석 절차

3. 적용 대상 유역 현황

본 연구의 적용대상유역은 수영강유역으로서 유역면적이 199.6km², 하천연장이 28.7km에 달하며 석대천과 온천천이 지류를 형성하는 부산 제1의 준용하천이다. 또한, 하구에서 약 9km 상류지점에 1946년 상수도 전용댐인 회동댐이 축조되어 현재에 이르고 있으며 회동댐 상류의 유역면적은 수영강 전 유역의 약 50%인 100km²에 달한다. 수영강 회동수원지 하류에는 9개소 이상의 대소교량이 건설되어 있고, 수영강 좌안부는 컨테이너도로, 우안부에는 수영강변도로가 위치하고 있다. 또한, 최근들어 집중호우 및 셀마, 글래디스 등의 태풍으로 인한 하천범람 및 유역내수배제불량에 기인한 복잡한 도시형 홍수재해피해를 경험하고 있다.

지형분석은 HYDROGIS를 사용하여 HEC-HMS 모형입력에 적합하게 수행하였으며, 과거 50여년간의 부산지역강우를 분석하여 확률강우량 및 강우강도식을 산정하였다. 유출을 해석을 하기 위해 전유역을 13개의 소유역, 8개의 하도구간, 6개의 합류지점으로 분할하였다. 그림 3은 소유역의 분할 및 합류점을 HEC-HMS모형에서 구축한 유역분할도이며, 그림 4는 수영강 본류에 대한 횡단면자료와 하천구조물을 HEC-RAS모형에서 구축한 본류하도의 종단도이다.

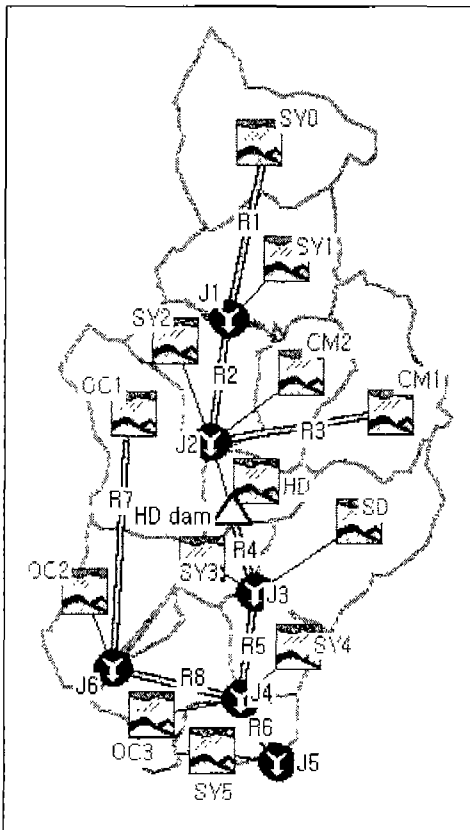


그림 3. HEC-HMS 유역분할도

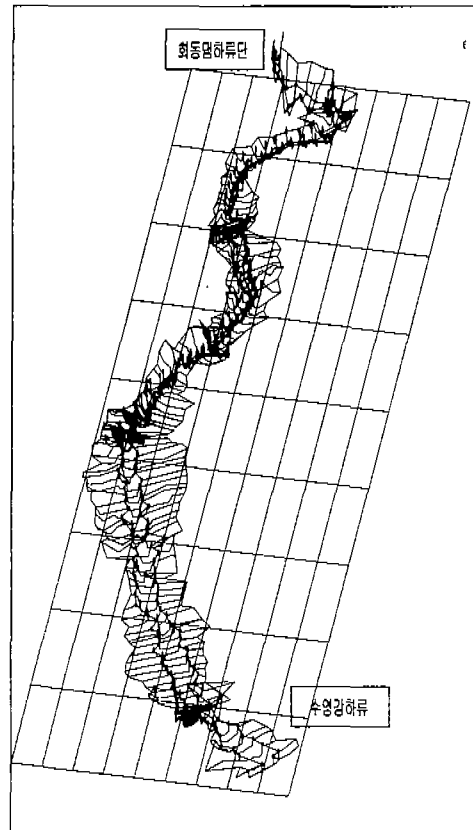


그림 4. HEC-RAS 하도종단도

4. 유역 유출 분석

부산지역의 확률강우량, 강우 시간분포를 이용하여 재현기간별, 지속시간별 강우·유출 분석을 수행하였다. 유역 추적을 위해서는 유역의 지형적 특성 및 도달 특성을 반영할

수 있기 때문에 미계측유역추적에 가장 적합하다고 평가되는 Clark 유역추적법을 사용했으며, 수문학적인 하도 추적을 위해서는 매개변수의 물리적인 특성을 가장 잘 반영하고 결과가 부정류 해석결과와 잘 일치한다고 연구된 Muskingum-Cunge 방법을, 그리고 유역내 상수 전용저수지인 회동댐에 대해서는 저류량·방류량곡선을 이용한 수정 Puls 방법에 의한 저수지추적을 통하여 유출량을 산정하였다.

결과적으로 회동댐 상류유역은 12시간 강우지속시간, 석대천과 온천천은 6시간, 그리고 수영강 본류의 석대천 합류후 및 온천천 합류후 그리고 수영강 하구지점에서는 12시간 지속시간일 때 첨두유출량이 산정되었다. 이 결과는 온천천 및 석대천과 같이 작은 유역은 12시간 또는 24시간의 장기간의 강우지속시간에 대한 첨두유출량보다 6시간의 첨두유출량이 크므로, 하천설계시의 24시간 설계강우 지속시간을 적용한다면 홍수량의 과소측정 위험이 있음을 알 수가 있다. 그림 5는 각 유역에서 산정된 50년 빈도 홍수수문곡선이다.

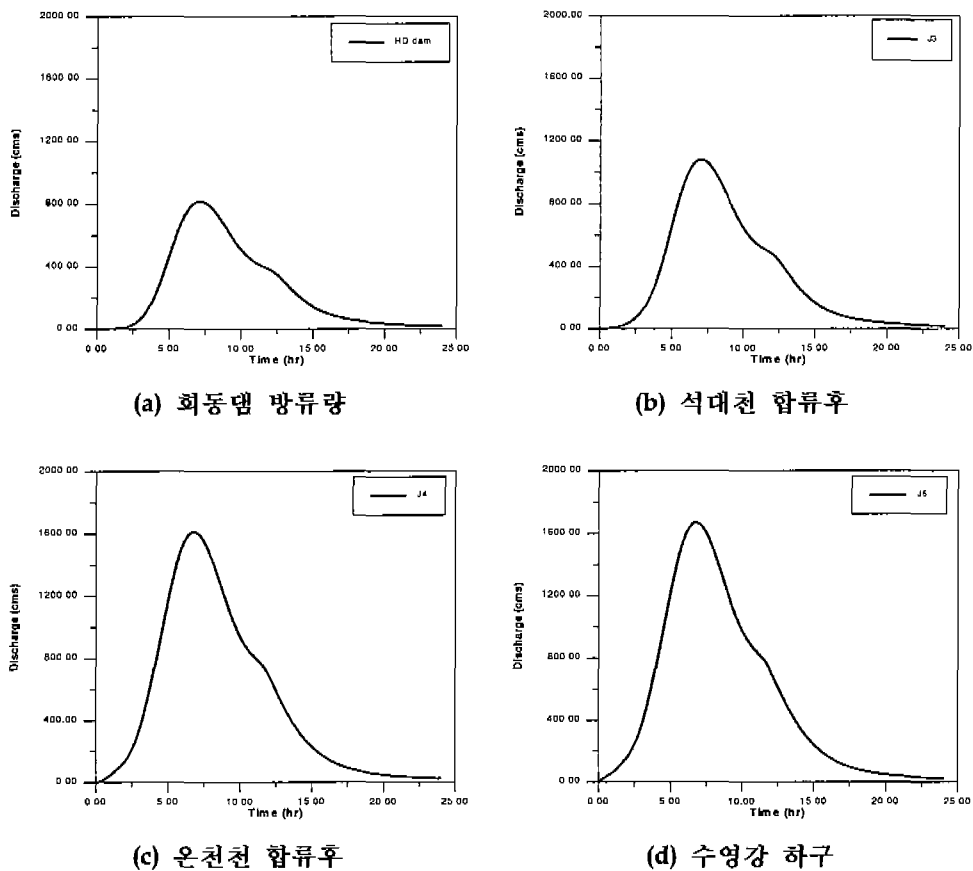


그림 5. 첨두홍수량 수문곡선 (재현기간 50년)

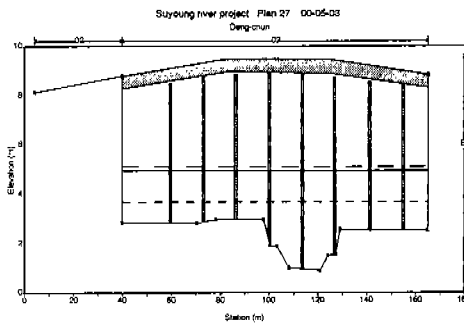
5. 하도 수리분석

본류하도에 대한 횡단면자료는 수영교 지점을 기점으로 하류 1.2km 구간은 100m 간격으로, 상류 6.8km구간은 80m 간격, 도심순환도로가 끝나는 지점의 상류 2km구간은 100m 간격으로 측점을 설치하여 수리학적 특성을 분석하는데 필요한 기초자료로 이용하였다. 분석대상구간에 대한 빈도별 적용홍수량은 유출분석의 결과 산정된 첨두홍수량 수문곡선(그림 5)을 이용하여 적용하였으며 그 결과는 표 1과 같다.

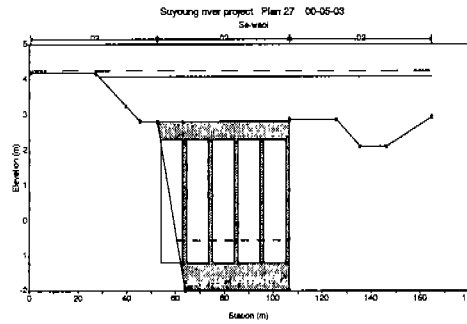
표 1. 빈도별 적용 홍수유출량

구분	빈도	회동땀방류량	석대천 합류후	온천천 합류후	수영강 하구
연최대 홍수량 (cms)	20년	642.0	849.7	1280.9	1325.3
	50년	817.5	1076.3	1614.4	1668.8
	100년	956.2	1254.7	1876.3	1940.4

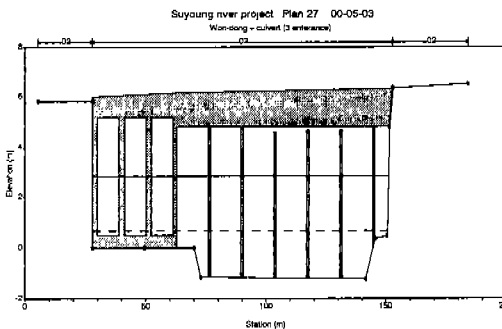
수영강 본류의 홍수위 분석에 영향을 주는 하천 구조물로는 회동교, 동대교, 동천교, 원동철교, 수영가교+수영1호교, 민락교 등 6개의 일반교량(그림 6(a)) 및 원동I.C.교, 원동교의 다중개구부교량(그림 6(c))과 암거형태(그림 6(b))인 세월교, 원동 I.C.교에서 동천교 구간에 위치한 도심순환도로의 교각들이 있다. 교량과 암거에 대한 상세 입력제원은 표 2와 같으며, 도심순환도로의 교각들은 2열씩 5m간격으로 약 2.6km구간에 설치되어 있어 교량의 교각으로 고려하여 횡단면자료를 직접 입력하기가 어렵기 때문에 그림 6(d)에서 보는 것처럼 횡단면을 5m 간격으로 선형보간하여 입력하고 교각은 다중block으로 고려하였다.



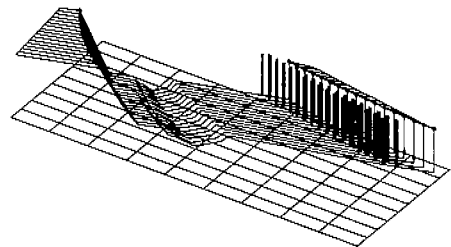
(a) 동천교 (Bridge)



(b) 세월교 (Culvert)



(c) 원동교 (Multiple Opening)



(d) 도심순환강변도로

그림 6. 하천구조물의 HEC-RAS 입력결과

표 2. 하천 구조물 상세 제원

측 점	구조물번호	교 량 제 원					비 고
		연장 (m)	교각폭 (m)	상판폭 (m)	교각수	상판고 (E.L.m)	
NO. 0+5	Bridge #1	166	1	10	10	4.87	민락교
NO. 0+10	Bridge #2	178	1	18	11	4.53	수영 가교+수영1호교
NO. 41+15	Bridge #3	134	1	6	11	7.19	원동철교
NO. 41+60	Multiple #1	125	1	14	6	6.36	원동교
NO. 44	Multiple #2	160	3	8	12	7.24	원동 I.C.
NO. 57+60	Culvert #1	72		12		2.83	세월교
NO. 76+40	Bridge #4	130	1	11	8	9.52	동천교
NO. 95+80	Bridge #5	94	1	10	3	10.14	동대교
NO. 97+50	Bridge #6	92	1	10	3	10.74	회동교

그림 7에는 20, 50, 100년 빈도홍수량을 적용하고 HEC-RAS의 상류(subcritical flow)계산을 통하여 홍수위를 산정한 결과를 보여 주고 있다.

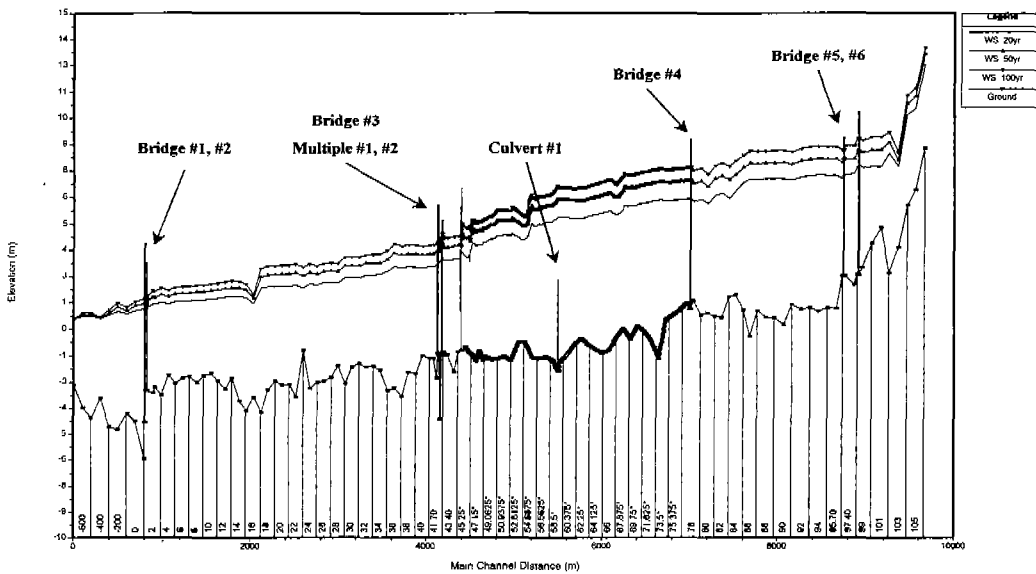


그림 7. 적용대상 하도의 종단수면형

다음은 구조물의 홍수위에의 영향을 살펴보았다. 구조물에 의한 배수는 구조물이 없는 상태의 수면형과 구조물에 의해 상승된 수면형의 차이로 정의할 수 있으며, 각 구조물에 대해서 선정된 조절점(Control Point)에서의 배수위를 산정한 결과를 표 3에 나타내었다.

그림 8, 9에서 보면 수영강 내의 하천구조물 중 원동 I.C.교에 의한 배수영향이 다른 구조물에 비해 배수효과로 인한 수위상승은 약 2배, 유속감소효과는 약 3배정도 크게 나타남을 알 수가 있다. 또한, 도심순환도로의 교각으로 인한 배수효과는 원동 I.C.교와 동천교 사이의 수위상승을 평균하여 보면 100년 빈도 홍수량의 적용시 0.42m 정도로 수영강에 대한 하천정비계획설립시 도심순환도로에 의한 영향을 반드시 고려해야 될 것으로 생각된다.

표 3. 각 조절점에서의 배수위 산정결과

빈도	구분	조절점 (Control Point)								
		NO.0.08 (민락교)	NO.1 (수영교)	NO.41.4 (철도교)	NO.43.4 (원동교)	NO.45.4 (원동 I.C.)	NO.58 (세월교)	NO.78 (동천교)	NO.97 (동대교)	NO.99 (회동교)
20년	①	0.92	1.17	3.24	3.33	4.07	5.31	6.18	7.37	7.71
	②	0.86	1.07	3.20	3.22	3.51	4.89	5.77	7.14	7.46
	③	0.06	0.10	0.04	0.11	0.56	0.42	0.41	0.23	0.25
50년	①	1.18	1.52	3.86	3.96	4.76	6.13	6.99	8.05	8.46
	②	1.10	1.38	3.81	3.85	4.04	5.59	6.49	7.73	8.15
	③	0.08	0.14	0.05	0.11	0.72	0.54	0.50	0.32	0.31
100년	①	1.42	1.82	4.30	4.42	5.23	6.72	7.61	8.65	9.08
	②	1.32	1.65	4.26	4.30	4.49	6.10	7.03	8.27	8.72
	③	0.10	0.17	0.04	0.12	0.74	0.62	0.58	0.38	0.36

(주) ① 구조물이 있는 경우의 수위 (E.L. m)
 ② 구조물이 없는 경우의 수위 (E.L. m)
 ③ 배수위 (①-②) (m)

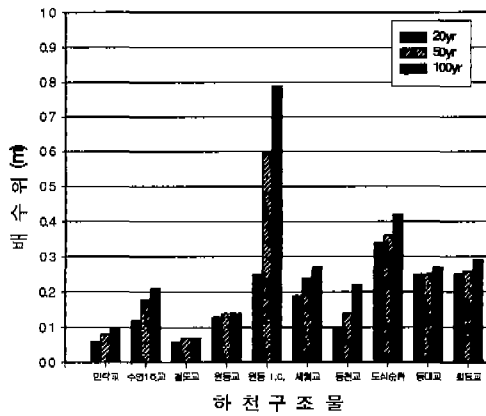


그림 8. 각 구조물에 의한 배수위

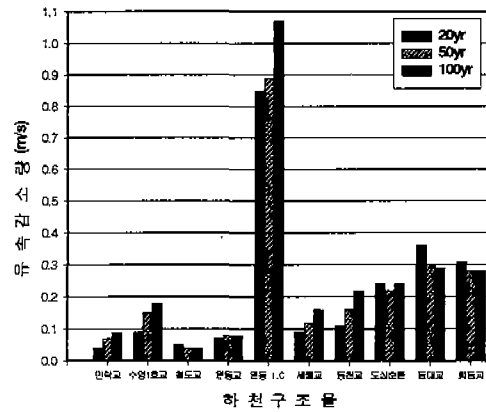


그림 9. 구조물의 배수효과에 의한 유속감소량

6. 결론

홍수 해석 및 영향 분석은 수문학 분야에서 가장 기본적이면서 널리 연구되어 왔다. 그러나 하천 정비 및 기타 홍수 관련 연구 및 사업에서는 아직도 그 해석의 정확도 및 기법의 체계화가 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 홍수 해석을 위한 통계적, 지형 정보학적, 수문학적, 수리학적 모형의 통합을 제시하고 그를 실제 수영강 유역에 적용하여 보았다. 아직 연구의 성과는 가시적이지는 못하나 차후 각 모들의 정량적인 개발 및 범용화로 인하여 정도를 높여갈 계획이다. 특히, 수영강 유역에서의 홍수 분석 및 하도내 구조물의 홍수위 영향을 분석함으로써 도 시내 하천의 무분별한 개발의 홍수에의 영향을 알아 보는 데 목적이 있었다.