

'96년 7월 홍수로 인한 임진강유역에서의 홍수파분석

이종태*, 한건연**, ○이창수***, 김상호****

1. 서론

임진강의 유역은 남한의 북단에 위치하며 전체 유역면적의 약 63%가 북한의 영역에 속하고 있다. 따라서 이 지역의 인구 밀도는 타 지역에 비해 작으며 산업활동도 미약한 지역이며 주요 군사 시설들이 밀집해 있는 지역이기도 하다.

임진강 유역의 면적은 8,117.5km²이며 유로 연장은 약 254.6km로서 함경남도 덕원군의 마식령에서 발원하여 남류하면서 강원도에 유입한 후 이천, 안협을 통과 황해도를 거쳐 경기도로 유입하여 연천군에서 한탄강과 합류한 후 서류하여 파주군을 지나 한강에 합류된 후 월곶리를 지나 경기만으로 유하한다.

본 연구에서는 '96년 7월 26~28일간의 집중 호우로 인한 임진강 유역의 홍수 피해와 홍수파의 전달 특성을 알아보기 위해 수치 모형을 적용하여 임진강 주요 지점별 홍수 범람 피해의 원인을 규명하는데 그 목적이 있다.

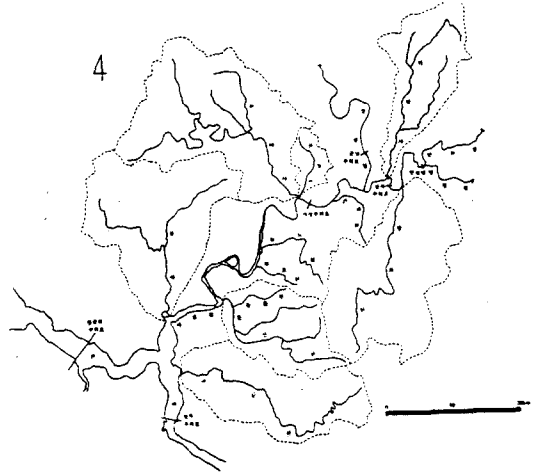


그림 1 임진강 중·하류지역의 유역도

2. 해석 구간 및 모형화

임진강에서의 홍수파 해석을 위하여서는 본류부의 상류역은 군남 수위표의 자료를 채택하였으며 한탄강 지류 구간에서의 홍수량은 전곡 수위표 지점에서의 홍수위를 선택하였다. 따라서 홍수추적 구간은 상류 군남으로부터 하류 탄현면을 거쳐 한강과 합류후 월곶리로 이어지는 하도 구간을 선택하였으며 전곡~직성간의 한탄강 구간과 전류~탄현간의 한강구간을 연결하는 하도망을 다음의 그림 2와 같이 구성하였다. 이때 고려되는 주요 지천으로서 한탄강 유역에서 차탄천, 임진강 구간에서 상류로부터 사미천, 문산천, 사천, 한강에서의 곡룡천 등으로서 비교적 그 규모가 큰 지천을 측방향 유입류로 산정하여 본류의 홍수량 산정에 고려하였다(표 1, 2).

표 1 임진강 하류부(군남~탄현) 주요 지류 현황

지 류 명	유로 연장(km)	유역 면적(km ²)	비 고
한탄강	133.40	2,436.40	파주 탄현
사미천	47.50	462.20	
사 천	29.10	345.00	

자료:하천편람(1980),임진강유역조사보고서(1996)

- * 경기대학교 토목공학과 교수
- ** 경북대학교 토목공학과 교수
- *** 경기대학교 토목공학과 석사과정
- **** 경북대학교 토목공학과 박사과정

표 2 한강하류부(전류~월곶리) 주요 지류현황

지 류 명	유로 연장(km)	유역 면적(km ²)	비 고
곡룡천 입진강	30.50 254.00	253.05 8,117.50	양주 장흥~고양 벽제

3. 적용 이론

하도망에서의 홍수파 해석을 위한 기존의 해석모형으로서 미국기상청(NWS)의 NETWORK(DWOPER)모형은 1986년에 NWS의 Fread에 의하여 개발되었는데 이 모형은 수지상 하천의 경우 Relaxation 알고리즘을, 하도망 형태의 경우 Network 알고리즘을 이용하여 해석하도록 되어 있다(Fread, D.L., 1973, 1985). Relaxation 알고리즘은 하도망을 해석할 수 없는 단점이 있으나 가지모양 하도망은 가장 효율적으로 계산할 수 있는 장점을 가지고 있으며, Network 알고리즘은 거의 모든 형태의 하도망을 해석할 수 있는데, 하도의 합류점 수위와 유량조건으로 이루어지는 내부 경계조건으로 취급하여 해석한다. 이 내부 경계조건으로 인해 형성되는 Jacobian 매트릭스의 해를 구함에 있어서 보다 효율적인 계산 알고리즘은 off-diagonal한 요소가 나타나는 것을 최소화함으로 이루어진다. 이때 하도망내의 각 단면에서 일련번호를 부여하는 방법은 효율적인 계산을 위해 매우 중요한 과정이다. 효율적인 계산을 위한 또 다른 중요한 사항은 특별한 Gaussian 소거법의 이용이다. 이 방법은 하도망의 각 단면에 고유의 code를 부여하고 그것을 이용하여 Jacobian 매트릭스 내에서 non-zero 항에 대해서만 계산이 이루어지도록 한 방법이다. Relaxation 알고리즘과 Network 알고리즘은 모두 dynamic wave식의 유한차분해석을 위해 가중 4점법을 사용하므로써 비선형 편미분 방정식을 비선형 대수 방정식으로 변환시켜 해석한다.

이 모형은 NWS에 의하여 더욱 개선 되어 DAMBRK의 기능을 동시에 수행할 수 있는 종합모형, FLDWAV(1997)로 발전되고 있다.

NETWORK 모형에서의 기본방정식은 동수력학 방정식인 다음의 식(1) 및 식(2)로 표현되는 연속방정식과 운동량방정식으로 구성된다.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial(A + A_o)}{\partial t} - q = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} - gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f + S_e \right) - q_i v_i = 0 \quad (2)$$

여기서, x 는 하천의 흐름방향거리, t 는 시간, Q 는 유량, h 는 수위, A 와 A_o 는 각각 유동(active) 및 저류(inactive) 하도단면적, q_i, v_i 은 측방유출입량과 그 유속, S_f, S_e 는 각각 마찰경사와 단면변화에 따른 손실경사의 항이다.

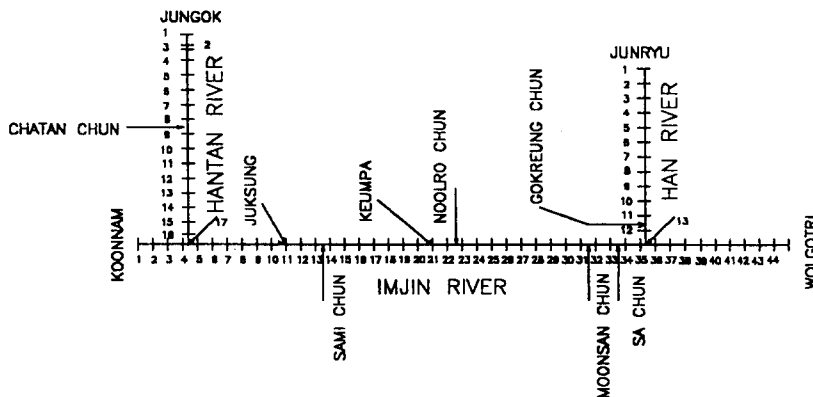


그림 2 NETWORK 하도망 구성

그림 2는 본 연구 검토 구간에 대하여 넓으로 구성한 하도망을 나타낸 것이다.

4. 각종 경계조건

4.1 상류경계조건

본 모형에 적용하기 위한 상류 경계조건으로서는 홍수기간의 군남 수위기록을 택하였으며 (그림 3), 한탄강에서의 상류경계조건으로는 전곡 수위기록값을 사용하였다(그림 4). 한편, 한강의 상류경계조건으로는 전류리의 수위수문곡선을 사용하였다(그림 5).

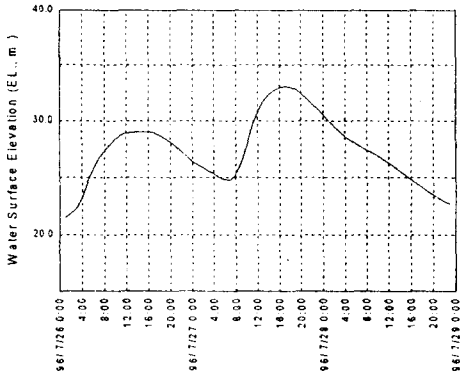


그림 3 군남지점에서의 경계조건

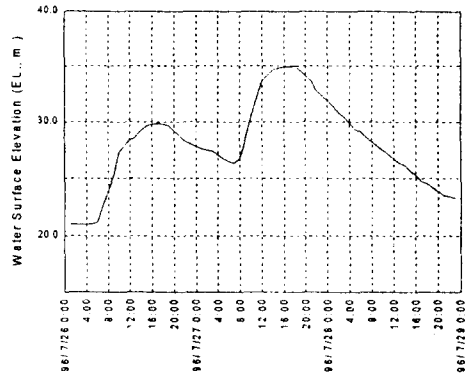


그림 4 전곡지점에서의 경계조건

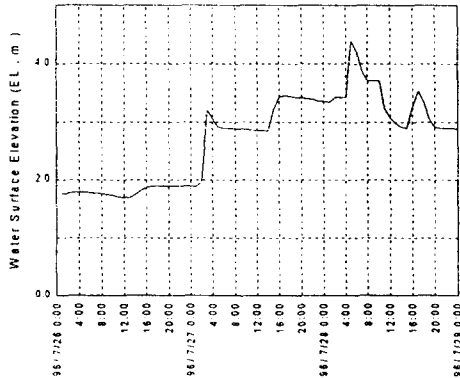


그림 5 전류리지점에서의 경계조건

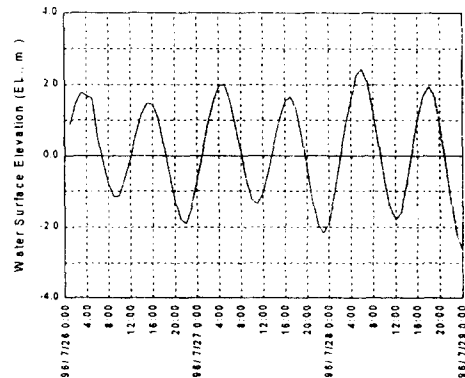


그림 6 월곶리지점에서의 경계조건

4.2 하류경계조건

하류 경계조건으로서 하구 조위자료는 해당 홍수기간의 인천의 조위기록을 이용하였으며, 하구가 위치한 월곶리에서의 조위는 인천과의 조고비 및 조시차를 고려하여 인천의 기록치로부터 환산 추정하였다(그림 6).

5. 임진강 홍수의 규모와 전달특성

5.1 모형의 적용성 평가

본 수치실험을 위하여 구성한 하도와 호우자료 및 지천의 유입량으로부터 NETWORK에 의해 산정된 결과의 적용성을 평가하였다. 이를 위하여 상류경계지역에서의 군남, 전곡의

수위측정자료와 하류부경계지역에서의 전류, 월곶리자료를 도입하여 수치해석한 결과를 적성지점에서의 수위관측자료와 비교 검토를 실시하였다. 다음의 그림 7은 적성지점에서의 수치모의치를 실측치와 비교한 것으로서 26일 홍수위에는 다소의 오차가 발생하였으나 전반적으로 최고홍수위와 발생시간 등에서 근접한 결과를 보여 주었다. 그러나, 26일 홍수위의 산정에서 다소 발생한 오차의 원인은 적성수위에 직접적인 배수 영향을 주는 사미천의 유출량 산정과정에서 사미천 상류의 지역이 비무장지대의 북쪽 지역이므로 우량자료의 질에 한계가 있었기 때문으로 판단된다.

또한 홍수기간에 한시적이긴 하지만 수위측정이 있었던 파주시 정수장 수위표 지점에서 관측치와 수치해석 결과치와의 비교를 실시하였다. 다음의 그림 8에서 볼 수 있는 바와 같이 이 지점에서의 홍수위 산정치는 실측치에 근사함을 보여주고 있다. 이상의 검토과정을 통하여 본 수치실험에서 구성한 각종 입력자료와 이들 값들의 조율결과는 실제홍수상황을 능률적으로 재현하였다고 판단되며, 수치해석 결과치는 하도 주요지점에서의 홍수양상을 평가하는 주요척도로 적용함에 무리가 없다고 판단되었다.

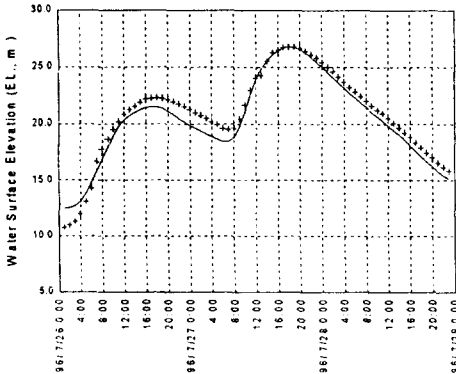


그림 7 적성수위기록과 모의치와의 비교

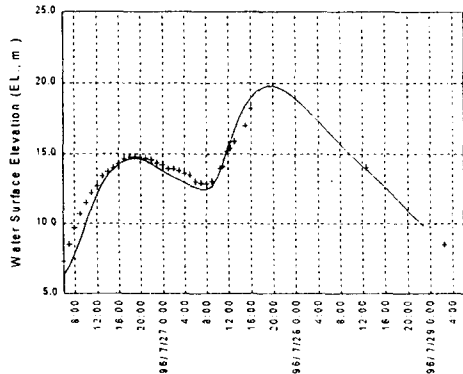


그림 8 금파취수장 수위기록과 모의치와의 비교

5.2 주요 지천별 유입량 산정

임진강과 한탄강 및 한강의 주요지천으로 부더의 홍수기간 유입량을 산정을 위하여서는 먼저 대상 유역의 시읍면의 강우자료를 조사하였으며, 이로부터 Thiessen망을 작성하여 면적 강우를 산정한 후 각 지천유역의 유역홍수추적에 적용하였다. 이를 위하여서는 HEC-1의 Clark 단위도법과 Muskingum-Cunge법을 선택 사용하였다.

본 검토구간의 상류단인 임진강 군남으로부터 하구인 월곶리에 이르는 30.41km의 구간에는 많은 지천들이 유입하고 있으며 이들중 홍수파의 해석에 특히 영향을 주는 비교적 유역면적이 큰 지천을 선별하고 이들 유역에 대하여 유출해석을 실시하고 이를 측방향 유입류로 처리하였다.

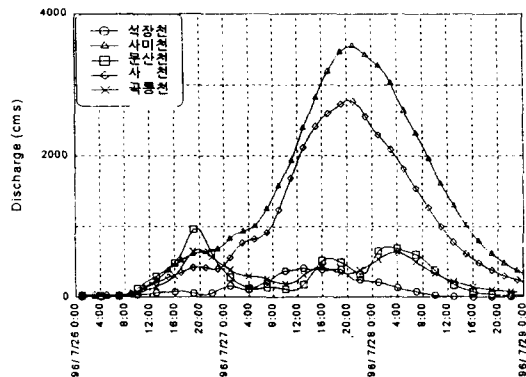


그림 9 주요지천별 유입수문곡선

5.3 주요지점별 홍수위와 침수양상

'96년 7월 호우에 의한 임진강 하도구간에서의 홍수전달 특성을 파악하기위해 주요지천이 합류하는 지점 즉, 한탄강 합류부, 사미천 합류부, 늘노천 합류부, 문산천 합류부에서의 홍수위 수문곡선을 계산하였다(그림 10). 그림에서 보는 바와 같이 홍수파가 하류로 진행되면서

감쇄현상이 두드러졌으며, 문산천 합류부에서는 조석의 영향이 상당히 있는 것으로 파악된다.

한편, 주요지점별 최고홍수위는 계획홍수위를 훨씬 능가하여 이번 홍수의 규모가 엄청난 것이었음을 보여주고 있다. 그러나 문산천 합류점에 이르러서는 계획홍수위에 미달하였다.철두 홍수의 발생시간은 한탄강 합류부에서는 27일 17:00시경, 사미천 합류부에서는 17:00시경, 늘노천 합류부에서는 22:00시경, 문산천 합류부에서는 22:00시경 이었다.

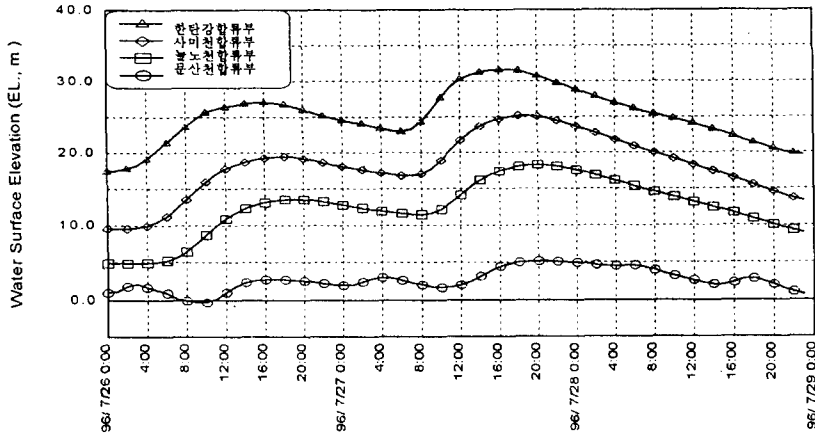


그림 12 임진강 주요지점별 홍수위 수문곡선

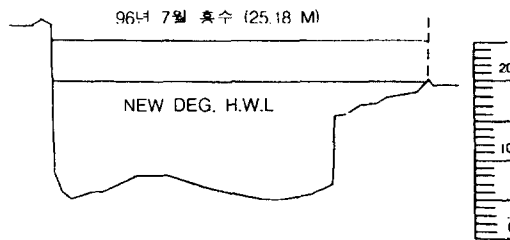


그림 13 사미천 합류부단면에서의 홍수위

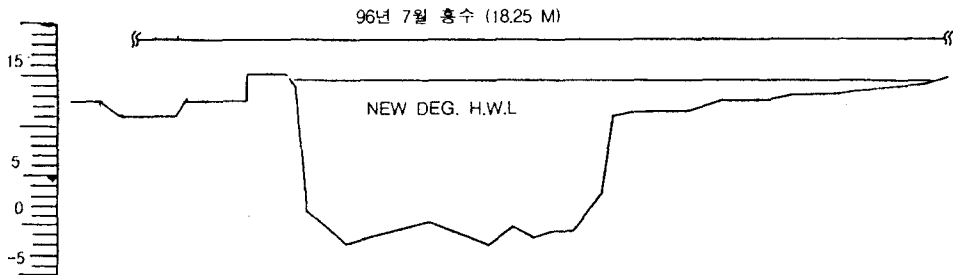


그림 14 늘노천 합류부 단면에서의 홍수위

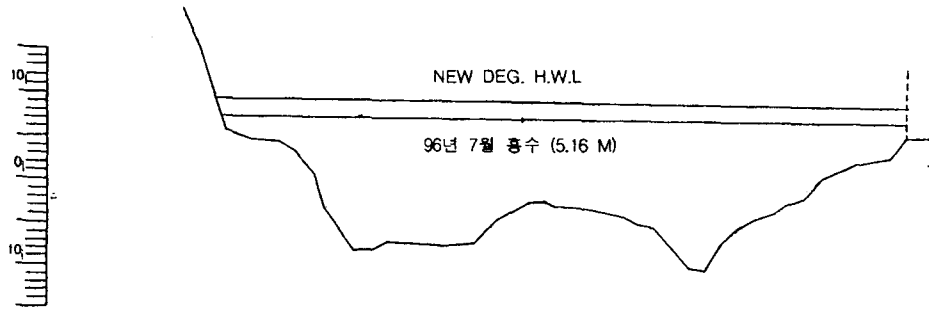


그림 15 문산천 합류부 단면에서의 홍수위

6. 결론 및 요약

- (1) 임진강 유역(군남~적성)에서의 홍수피해는 호우로 인한 홍수량이 계획홍수량을 훨씬 상회함으로써 하도 전 구간에서 계획제방고를 월류하는 홍수위를 보였다. 따라서 이 지역에서의 홍수피해 주원인은 이상 강우에 기인한 것으로 판단된다.
- (2) 임진강 주요지점에서의 연천댐 일부 유실로 인한 홍수위 영향은 거의 없는 것으로 판단된다.
- (3) 임진강하구의 조석영향은 문산천 하구의 수위에 상당한 영향을 주고 있음을 확인하였다.

7. 참고 문헌

1. 건교부, 임진강 유역조사보고서(1차), 1955
2. 건설부, 임진강 하천정비기본계획, 1980. 12
3. 건설부, 한강하류연안개발계획, 1989. 6
4. 건설부, 한강하류하천연안개발계획, 1988. 9
5. 건설부, 한강 하천정비기본계획(달천, 문산천), 1984. 12
6. 건설부, 한강수계치수기본계획, 1992. 5
7. 경기도, 곡릉천 하천정비기본계획, 1989, 12
8. 경기도, 문산천 하천정비기본계획, 1989. 12
9. 경기도, 사미, 석장, 장현천 하천정비기본계획, 1996. 11
10. 연천군, 차탄천 하천정비기본계획, 1987. 9
11. 이종태 (1990), "이상홍수에 대응을 위한 하천 시스템에서의 홍수파 해석 모형연구", 국제수문개발계획 (IHP) 연구보고서
12. 이종태 (1982) "Preissmann 기법에 의한 1차원 부정류의 해석", 한국수문학회지, 15(1), 57-62
13. 이종태, 한건연 (1986), "하천제방의 붕괴로 인한 제내지의 침수예측모형", 한국수문학회지, 22(2), 223-231.
14. 한국수자원학회, '96년 7월 경기·강원 북부지역 홍수피해, 1996.10
15. Amein, M. and Fang, C.S. (1970), "Implicit flood routing in natural channels", J.Hydraulic Div., ASCE, 96(12), 2481-2500.
16. Amein, M., and Chu, H.L. (1975), "Implicit numerical modeling of unsteady flows", J.Hydraulic Div., ASCE, 101(6), 717-731
17. Fread, D.L. (1973), "Technique for Implicit Dynamic Routing in Rivers with Tributaries", Water Resources Research, 9(4), 918-926.