

내수침수모의를 통한 배수문 높이결정에 관한 연구

주태호¹, 윤관선¹, 윤현철^{1*}
¹부산대학교 사회환경시스템공학부

Study on the Decision of Watergate Stage Using Inundation Simulation for Inland

Tai Ho Choo¹, Gwan Seon Yun¹ and Hyeon Cheol Yoon^{1*}

¹Dept. of Environmental and civil Engineering, Pusan National University

요 약 본 홍수피해를 저감하기 위해 하천의 제방 증축, 하도준설, 수리구조물의 설치 등에 있어 적합한 설계가 요구된다. 이 중에서 배수문에 관한 하천설계기준을 살펴보면 설치위치는 7개의 항목으로 나열되어 있으나, 그 기준이 상세하지 않음을 알 수 있다. 제내지의 토지이용 및 유역특성을 반영한 배수문의 적절한 위치를 산정하기 위하여 외수위를 고려한 내수침수모의가 수행되어 정량적 평가가 이뤄져야 한다. 그러나 내수침수모의는 대개 수리·수문학적 특성을 동시에 고려해야 되기 때문에 매우 복잡하고 시간이 오래 소요된다. 따라서, 본 연구에서는 배수문 설치에 대한 정량적 검토를 바탕으로 간편하고 정확한 설계방법을 제시하였다.

Abstract In order to reduce flood damages, there should demand an appropriate design such as enlarging a bank, dredging a river bottom, building a hydraulic structure and so on. The installation locations about the Watergate are listed of the seven provisions in the river design standard, but it is not detailed. In order to compute proper place considering landuse and basin characteristics of inland, internal inundation modeling that should be performed is regarded with quantitative evaluation. Anyway, that is very complex and taking a long time because that has to consider hydraulic and hydrologic characteristics. In the current study, therefore, the simple and convenient method for internal inundation modeling was proposed to overview the Watergate location.

Key Words : Internal inundation modeling, Probability precipitation, Watergate location

1. 서론

지구온난화현상으로 인한 기상이변이 속출하는 가운데 우리나라는 단시간에 특정지역에 집중되는 국지성호우의 발생빈도가 증가하는 추세에 있다. 이에 따라 수문빈도설계 기준이 되는 과거 관측 강우사상에 비해 최근 강우사상이 강해짐에 따라 댐과 하천의 홍수량, 홍수위재산정의 필요성이 대두되고 있다. 홍수로 인한 피해를 저감하기 위해서는 근본적인 원인을 규명할 필요가 있고, 그 원인을 살펴보면 제외지에서 하천수위 증가로 인한

외수범람과 제내지에서 통수불량으로 인한 내수침수로 나눌 수 있다. 이 중 내수침수는 인간에게 직접적으로 재산과 생명에 피해를 발생시킬 수 있으므로 정량화된 분석을 통해 제방증축, 하상준설 등을 통한 통수능확보, 하천수리구조물 설치, 유수지의 확보, 배수펌프장 설치, 우수저류조 설치 등의 방법을 통해 홍수에 대한 취약성을 개선할 필요가 있다고 사료된다.

내수침수모의에 관한 최근 연구를 살펴보면 장수형 등 [1]은 제내지와 하도를 연계하여 제내지 침수해석에 적용하였으며, 백형조 등 [2]은 외수 및 내수침수에 의한

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음

*Corresponding Author : Hyeon Cheol Yoon(Pusan National Univ.)

Tel: +82-51-510-7654 email: standupup@pusan.ac.kr

Received November 16, 2013 Revised (1st December 3, 2013, 2nd December 16, 2013) Accepted February 5, 2014

홍수범람 해석에 관한 연구를 수행하였고, 정성영 등 [3]은 3차원 환경유체동역학모형(EFDC : Environmental Fluid Dynamics Code)을 이용하여 배수문 증설에 따른 홍수위 저감에 관한 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 선행연구보다 간략한 방법으로써 제외지의 수위수문곡선, 제내지의 유출수문곡선, 배수문의 높이(EL.m)를 이용하여 내수침수모의를 수행하였고, 배수문의 높이에 따라 변화하는 침수량 및 침수시간을 산정하고자 한다.

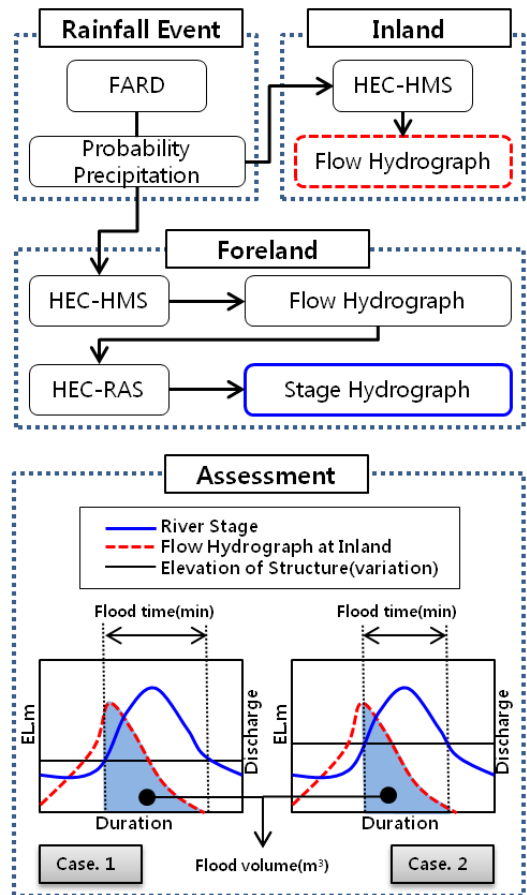
2. 침수해석모형

본 연구에서는 외수위를 고려한 제내지 침수모의를 간략하게 수행하기 위하여 국립방재연구소에서 개발한 FARD(Frequency Analysis of Rainfall Data)를 이용한 확률강우량 선정, 미육군 공병단의 수문기술센터(Hydrologic Engineering Center)에서 개발한 HEC-HMS(Hydrologic Modeling System)모형을 이용하여 제내지 및 제외지의 유출수문곡선 산정, 그리고 HEC-RAS(River Analysis System)모형을 이용하여 시간에 따른 제외지의 수위수문곡선(Stage hydrograph)을 산정하였다.

3. 연구대상 및 침수해석방법

3.1 침수해석방법

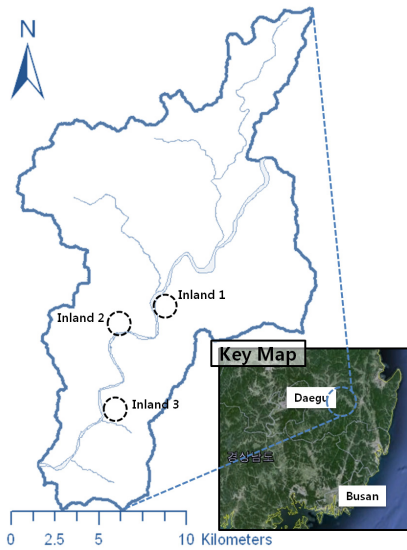
제내지 내수침수해석 방법은 다음 Fig. 1과 같이 대상 유역의 수문설계빈도에 부합하는 확률강우량을 산정하거나 기 수립된 하천 관련 보고서의 산정된 확률강우량을 이용하였다. 이 확률강우량을 HEC-HMS에 적용하여 대상유역의 홍수량 및 제내지의 유출수문곡선을 산정하고, 마찬가지로 산정한 홍수량을 하천수리모형인 HEC-RAS에 적용하여 제외지의 외수위 수문곡선을 산정하였다. 산정된 제외지의 수위수문곡선과 배수문의 높이를 이용하여 통수 여부를 결정하고, 외수위가 배수문의 높이를 초과할 경우를 침수가 일어났다고 가정하였다. 침수가 일어난 시간동안 제내지의 유출수문곡선으로부터 침수량 및 침수시간을 추정하는 방법을 본 연구에 적용하였다.



[Fig. 1] Method of inundation analysis

3.2 연구대상유역

경상북도 청도군에 위치한 동창천 유역 중 댐 상류유역을 제외한 댐 하류유역은 하도 및 유역의 경사가 급하고, 유출에 의해 제내지로 침수를 야기할 수 있어 제내지 침수모의를 위한 연구대상으로 선정하였고, 댐하류 동창천의 유역면적은 248.83 km²이고, 유로연장은 28.82 km로 총 6개소의 지방하천으로 구성되어 있다. 이 유역에서 제외지의 외수위를 고려한 제내지의 침수해석을 수행하기 위해 외수의 영향을 충분히 받을 수 있는 중·하류 지역을 결정하여 다음 Fig. 2와 같이 배수문이 위치한 3개소의 제내지를 선정하였고, 제내지 유역의 현황은 다음 Table 1과 같다.



[Fig. 2] Location for the objected basin

[Table 1] Status of the objected areas

Division	Inland 1	Inland 2	Inland 3
Basin Area (km ²)	6.97	2.94	1.31
Channel Length (km)	4.35	3.81	1.62
Channel Slope (m/m)	0.149	0.144	0.266
Mean Slope (m/m)	0.224	0.224	0.223
CN (AMC III)	87.5	87.5	85.7
Location	Left	Right	Left

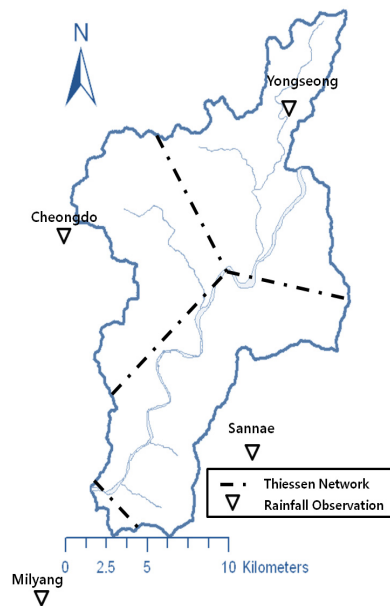
3.3 확률강우량의 산정

대상유역에 관련된 하천기본계획 보고서는 1994년에 수립되어 현재 상황을 정확히 반영한다고 보기 어려우므로 본 연구에서는 2012년을 기준으로 확률강우량을 재산정하였다. 대상유역 인근에 위치한 강우관측소를 조사한 결과 국토교통부에서 운영하는 산내, 청도, 용성지점과 기상청에서 운영하는 밀양지점이 위치하고 있었고, 과거 관측자료를 25년 이상 확보하고 있어 위 4개소의 강우관측소를 선정하였다. 따라서, 다음 Table 2와 같이 강우자료를 조사 및 수집한 후 국립방재연구소에서 개발한 FARD [4] 에 연최대치 강우량을 적용하여 강우빈도해석을 실시하였다.

[Table 2] Status of rainfall data

Division	Data	'60 ~ '69	'70 ~ '79	'80 ~ '89	'90 ~ '99	'00 ~ '12	Missing values
Sanna	Hourly			1980			'93, '96 ~ '02
	Daily	1965					
Cheongdo	Hourly			1987			
	Daily			1987			
Yongseong	Hourly			1987			
	Daily			1987			
Milyang	Hourly		1973				
	Daily		1973				

『설계홍수량 산정요령(국토교통부 2012. 9)』 [5] 의 국내 강우의 지속기간별 관계에 제시된 환산계수를 이용하여 고정시간의 강우자료에 의한 확률강우량을 임의의 지속기간에 대한 확률강우량으로 보정하였고, Fig. 3과 같이 티센망을 구축하여 재현빈도에 따른 지속기간별 유역 평균 확률강우량을 Table 3과 같이 산정하였다.



[Fig. 3] Location of the rainfall observations and thiessen network

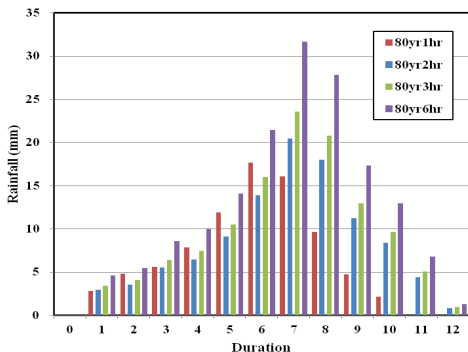
[Table 3] Probability Precipitation

Return Period (year)	Duration(min)					
	60	120	180	360	720	1440
2	33.2	47.0	55.5	73.8	96.9	116.9
5	44.6	61.9	73.0	98.2	131.3	163.1
10	52.1	71.7	84.5	114.4	154.2	193.6
30	63.5	86.6	102.0	138.8	188.6	239.8
50	68.6	95.9	109.9	149.9	204.4	260.9
80	73.4	99.7	117.2	160.2	218.8	280.3
100	75.6	102.6	120.6	165.0	225.2	289.4
200	82.5	111.7	131.4	180.0	246.8	317.7

unit : mm

강우의 공간적 분포는 Fig. 3과 같이 티센망을 구축하여 유역평균법을 적용하였으며, 강우의 시간적 분포는 최근 주로 사용되고 있는 Huff분포를 채택하였다. Huff 분포에 관한 문헌을 살펴보면 기존 「지역적 설계강우의 시간적 분포(국토교통부, 2000)」를 보완한 최근 연구인 「확률강우량도 개선 및 보완 연구(국토교통부, 2011)」 [6]가 대표적이다.

본 연구에서는 위 보고서에 제시된 관측소 중 연구대상유역에 가장 인접해있는 밀양관측소를 선택하였다. 밀양관측소의 과거 강우사상 중 최빈 분위인 3분위를 선택하였고, 실무에서 일반적으로 적용하는 50% 초과확률을 채택하였다. 대상유역의 하천의 수문설계빈도는 80년 빈도로 설계된 것을 고려하여 본 연구에서도 80년 빈도의 1, 2, 3, 6시간 확률강우량을 강우사상으로 선정하였고, 우량추상도는 다음 Fig. 4와 같다.

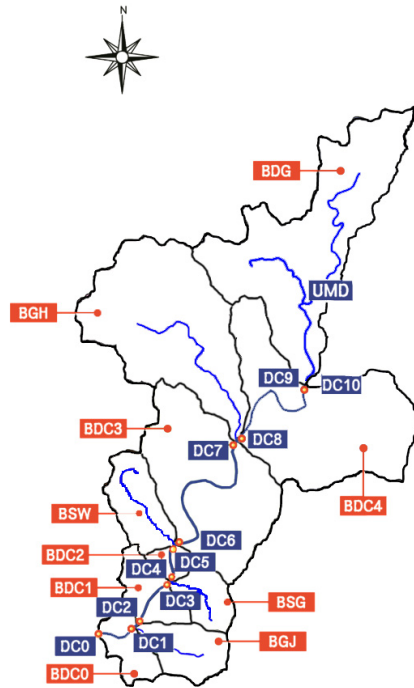


[Fig. 4] Hyetograph for each rainfall event

3.4 강우유출모의

본 절에서는 제외지의 유출수문곡선을 산정하기 위해 '12년에 수행된 동창천 하천기본계획(안)에 제시된 수문

학적 매개변수를 참고로 HEC-HMS모형에 적용하였다. 연구대상의 지류는 총 6개의 지방하천으로 지류의 유입량을 고려하여 유출수문곡선을 산정하기 위해 Fig. 5와 같이 지류의 합류점 전 후로 구분하였고, 3.3절에서 산정한 강우사상을 적용하여 Fig. 6과 같이 주요지점별 유출수문곡선을 산정하였다.



[Fig. 5] Locations of estimation for hydrograph

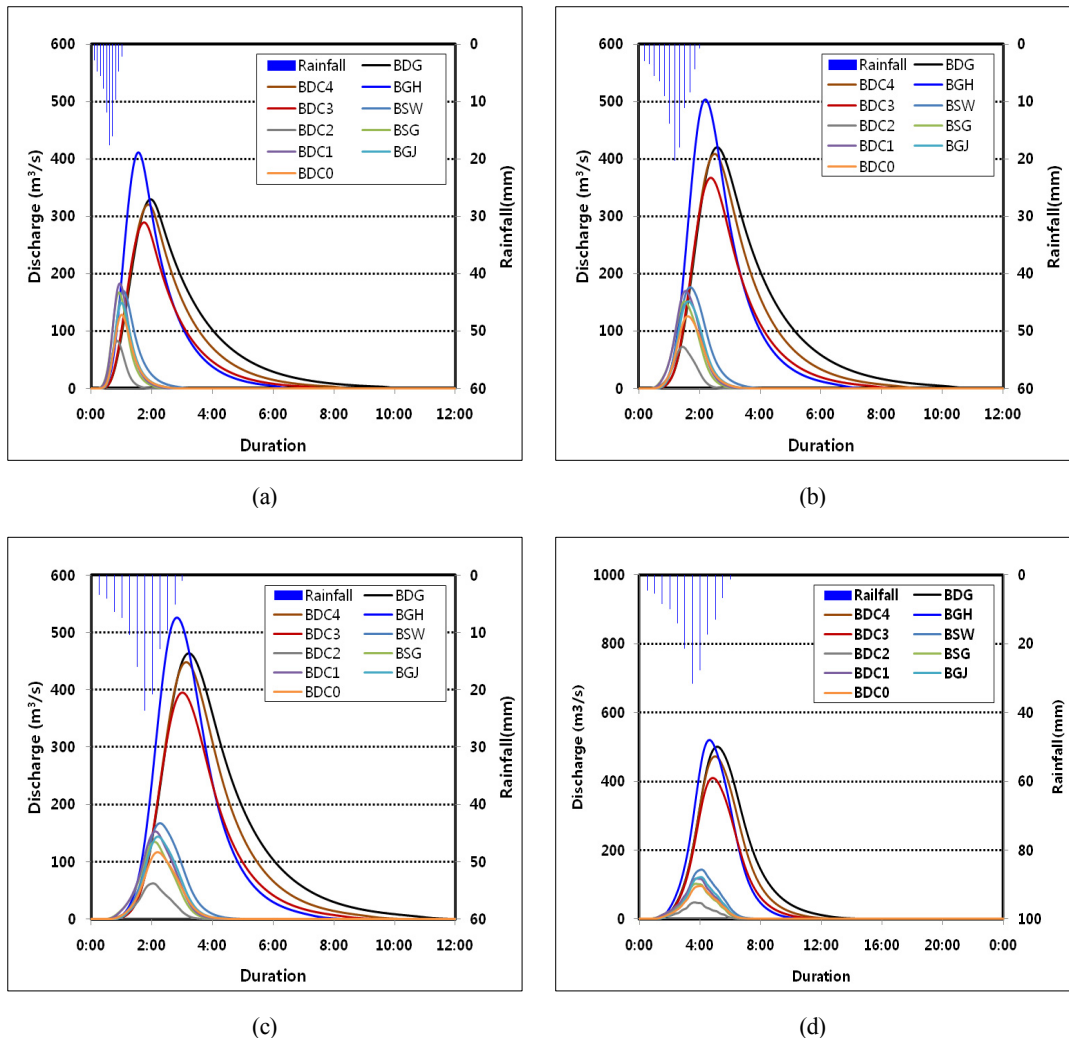
3.5 하천수리해석

제내지 침수 모의 시 제외지의 수위수문곡선을 외수의 경계조건으로 적용하고자 본 절에서는 하천수리해석을 수행하였다. 하천수리모형인 HEC-RAS에 3.4절에서 산출한 유출수문곡선을 상·하류 및 측방의 경계조건으로 적용하여 하천에서 배수문이 위치하는 단면의 시간에 따른 수위수문곡선을 4.1절의 Fig. 7과 같이 산정하였다.

4. 제내지 침수모의 및 결과분석

4.1 제내지 침수모의

3.3절에서 산정한 확률강우량을 HEC-HMS에 적용하여 유출수문곡선을 산정하였고, 유출수문곡선을 하천수리모형인 HEC-RAS의 경계조건으로 부정류 모의를 수행



[Fig. 6] Runoff hydrograph for each rainfall event
 (a)80-year 1-hour (b)80-year 2-hour (c)80-year 3-hour (d)80-year 4-hour

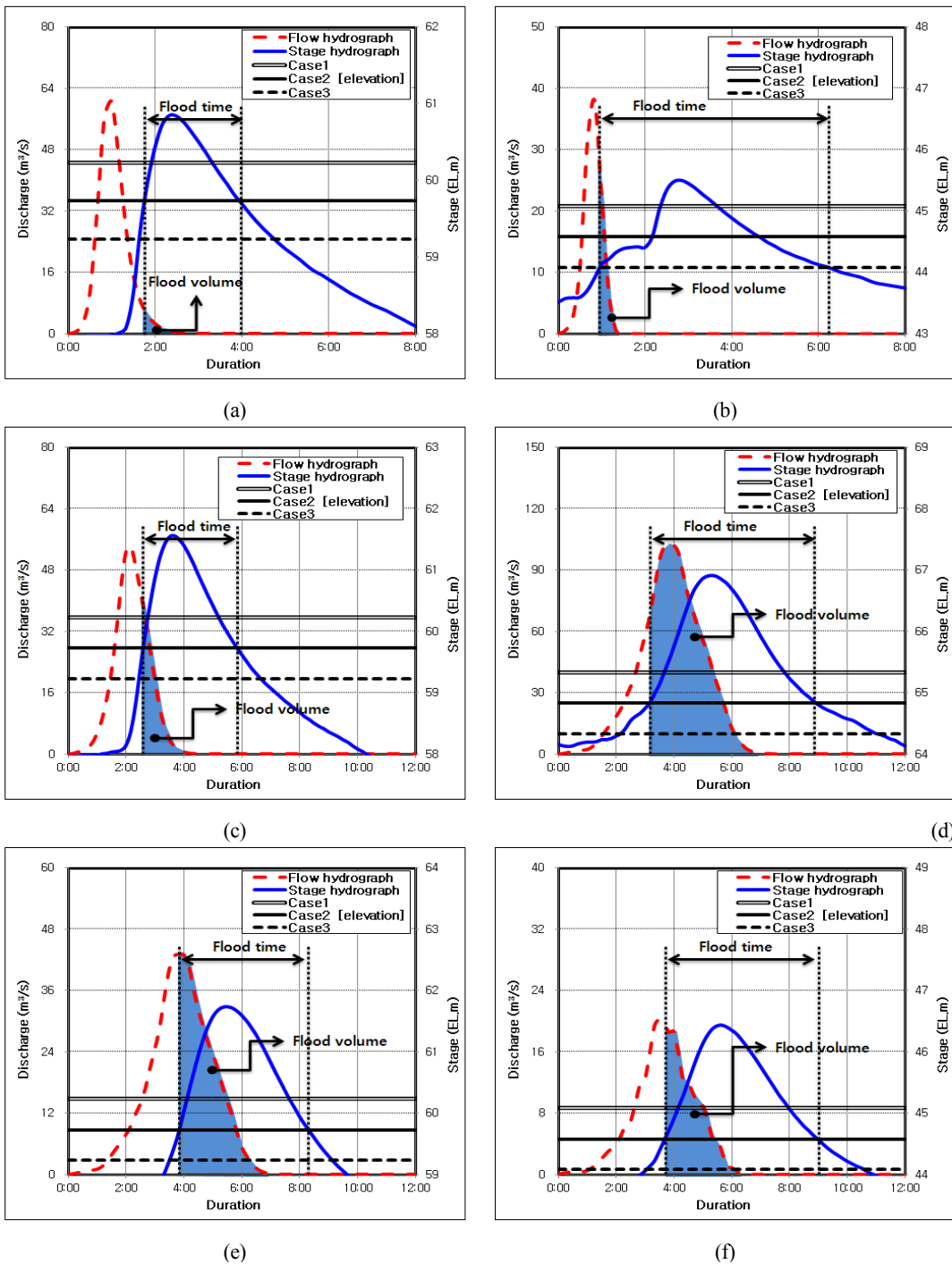
하였다. 또한, 배수문의 상류배수구역에 해당되는 제외지를 Table 1의 수문학적 매개변수를 HEC-HMS에 적용하여 제내지의 유출수문곡선을 산정하였다. 산정한 유출수문곡선과 기존 배수문의 높이를 이용하여 Fig. 7과 같이 제내지 침수모의를 수행하였다. 본 연구에서는 3가지 경우로 Case 2는 원래 설치된 배수문의 높이이고, Case 1은 Case 2에 0.5 m 를 상승시킨 경우이며, Case 3은 0.5 m 를 하강시킨 경우이다.

Fig. 7에서 빨간색 점선은 제내지의 유출수문곡선, 파란색 실선은 제외지의 수위수문곡선, 3종류의 점정색선은 3가지 경우의 배수문 높이를 나타낸 것이다. 외수위가

수리구조물의 높이를 초과하면 침수가 일어난 것으로 가정하였고, 침수기간동안 제내지의 유출수문곡선으로부터 침수량을 추정하였다.

4.2 결과분석

Fig. 1과 같은 방법을 이용하여 배수문이 설치된 제내지 3곳을 대상으로 80년 빈도 1시간, 2시간, 3시간, 6시간 지속기간의 확률강우량을 적용하여 강우유출모형 및 하천수리해석모형을 통하여 배수문의 위치에 따른 제내지의 침수모의 결과를 다음 Table 4-6에 나타내었다.



[Fig. 7] Inundation simulation for the inlands

- (a) 80-year 1-hour by case 2 for inland 2
- (b) 80-year 1-hour by case 3 for inland 3
- (c) 80-year 3-hour by case 2 for inland 2
- (d) 80-year 6-hour by case 2 for inland 1
- (e) 80-year 6-hour by case 2 for inland 2
- (f) 80-year 6-hour by case 2 for inland 3

[Table 4] Simulation result for inland 1

Duration (hr)	Case	Flood	
		Time (min)	Volume (m ³)
1	1	320	157,740
	2	190	89,220
	3	100	24,960
2	1	360	358,880
	2	220	190,740
	3	140	121,740
3	1	400	503,400
	2	250	366,840
	3	170	217,740
6	1	510	844,980
	2	330	680,880
	3	230	514,260

[Table 5] Simulation result for inland 2

Duration (hr)	Case	Flood	
		Time (min)	Volume (m ³)
1	1	180	10,920
	2	120	5,880
	3	70	3,060
2	1	210	29,280
	2	160	29,280
	3	110	16,140
3	1	240	90,180
	2	180	64,740
	3	140	43,500
6	1	320	240,660
	2	250	189,240
	3	200	163,500

[Table 6] Simulation result for inland 3

Duration (hr)	Case	Flood	
		Time (min)	Volume (m ³)
1	1	310	17,520
	2	-	-
	3	-	-
2	1	340	40,980
	2	200	780
	3	-	-
3	1	360	60,360
	2	240	20,640
	3	140	600
6	1	440	121,920
	2	300	76,740
	3	220	54,360

분석결과 각 강우사상에 대한 침수시간 및 침수량은 배수문의 위치가 가장 높은 Case 1에서 외수위의 영향을 받아 가장 크게 나타났다. 그리고 제내지 1은 경우 제내지 2, 제내지 3에 비해 침수시간 및 침수량이 크게 나타났다, 이는 제내지 1의 위치가 지류가 합류된 후 직하류에 위치하고 있기 때문으로 판단된다.

5. 결론

제시된 방법을 적용하여 연구에서 도출된 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 하천설계기준에서 배수문 설치위치에 대한 내용을 살펴보면 정량적 분석을 통한 위치결정이 아닌 서술형으로 명시되어 있어 본 연구에서는 기존 하천 관련 보고서에서 분석한 확률강우량, 수문학적 매개변수 등을 이용하여 간략하게 모의할 수 있는 방법을 제시하였다.
- (2) 강우지속시간이 길어질수록 외수의 영향에 의해 통수가 취약하여 침수시간 및 침수량이 증가함을 알 수 있었으며, 이는 배수문이 존재하는 제내지의 유역규모가 작고, 하천의 도달시간 및 수위수문곡선의 영향이 큰 것으로 분석되었다.
- (3) 제내지 내수침수 모의결과 제내지 1의 경우 지류가 합류된 후 본류의 직하류에 위치하고 있어 다른 지역에 비해 침수시간 및 침수량이 큰 것으로 분석되었다. 이는 곧 확률강우량을 적용하여 홍수량을 산정할 시 지형학적 요인을 고려하여야 한다.
- (4) 배수문이 하천의 위치 및 높이에 따라 침수결과가 다르게 모의됨은 물론, 유역의 규모에 따라 수문곡선의 형태가 달라지므로 배수유역의 규모 및 외수위 변화를 고려한 부정류해석이 수행되어야 한다고 판단된다.
- (5) 배수문의 위치를 결정할 시 본 연구에서 제시한 방법과 제내지의 토지이용현황 및 수문학적 특성을 고려한다면 합리적인 설계 및 피해에 따른 보상비 산정에 기여도 가능할 것으로 판단된다.

Reference

[1] S. H. Jang, J. Y. Yoon, Y. N. Yoon, and W. K. Kim, "Method for flood runoff analysis of main channel connected with interior floodplain : I. application for analysis of inundation area in interior floodplain", *KSCE*

Journal of Civil Engineering, Vol. 26, No.1, pp79-88, January, 2006.

- [2] H. J. Baek, H. S. Lee, Y. K. Yi, and D. K. Koh, "Inundation analysis by the occurrence of rivers flood and the inland flood", *Proceedings '06 of Korea society of civil engineers*, pp. 2071-2074, 2006.
- [3] S. Y. Jung, J. H. Yun, Y. T. Hur, and K. S. Jung, "Decrease of the Flood Level by Extension Watergate in Ulsukdo", *Proceedings '06 of Korea society of civil engineers*, pp. 1646-1649, 2008.
- [4] Korea Water Resources Association, *17th Water Engineering Workshop*, Incorporated Association KWRA, 2007.
- [5] Ministry of Land, Infrastructure and Transport. *Method of design flood*. Government Complex -Sejong, Sejong-si, Korea. pp. 3-4, 2012.
- [6] Ministry of Land, Infrastructure and Transport. *Study on improvement and supplement of the probability precipitation*. Government Complex -Sejong, Sejong-si, Korea. pp. 158-161, appendix IV pp.43, 2011.

추 태 호(Tai Ho Choo)

[정회원]



- 1990년 12월 : Pittsburgh 대학교 일반대학원 토목공학과 (수리학 석사)
- 1998년 12월 : Pittsburgh 대학교 일반대학원 환경토목공학과 (환경수리학 박사)
- 1984년 2월 ~ 2002년 9월 : K-Water 연구원 책임연구원 등
- 2002년 9월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학부 교수

<관심분야>

댐, 수리수문, 하천

윤 관 선(Gwan Seon Yun)

[정회원]



- 2011년 2월 : 순천대학교 토목공학과 (공학사)
- 2013년 2월 : 순천대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 박사과정

<관심분야>

댐, 수리수문, 하천

윤 현 철(Hyeon Cheol Yoon)

[정회원]



- 2010년 2월 : 동아대학교 토목공학과 (공학사)
- 2012년 2월 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 (공학석사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 박사수료

<관심분야>

댐, 수리수문, 하천