

하천 수리구조물에 의한 제내지 침수모의

추태호¹, 윤현철¹, 노현석¹, 윤관선^{*}
¹부산대학교 사회환경시스템공학부

The Inundation Simulation for Inland by River Hydraulic Structures

Tai-Ho Choo¹, Hyeon-Cheol Yoon¹, Hyun-Suk Noh¹ and Gwan-Seon Yun^{1*}

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

요약 본 최근 이상기후 현상으로 인하여 단시간동안 특정지역에 집중되는 국지성호우가 빈번하게 발생하고 있어, 잠재적인 침수재해에 대비하기 위해 적합한 설계빈도를 적용할 필요가 있다. 그러나 하천설계기준을 살펴보면 배수문의 수문설계빈도는 20년 이상으로만 명시되어 그 설계빈도에 대한 기준이 상세하지 않음을 알 수 있다. 하지만 침수피해를 저감하기 위해 외수를 고려한 제내지 침수모의가 수행되어 정량적 평가를 요한다. 내수침수모의는 보통 수리·수문학적 특성을 동시에 고려하여 매우 복잡하고 시간이 오래 소요되었다. 따라서, 본 연구에서는 기 설립된 하천관련 보고서를 이용하여 간단하면서도 단시간에 평가할 수 있는 방법을 제안하였고, 하천의 종류 및 하류에 배수문이 설치된 5개소의 제내지를 대상으로 설계빈도에 따른 9가지 확률강우량을 적용하여 설계빈도 및 위치에 따른 영향을 평가하였다.

Abstract A local rain that is concentrated in specific area in a short time frequently occurs due to recent abnormal weather. To prevent potential flood disasters, therefore, it is necessary to be established to the flood control system. Checking the river design standard, however, hydrologic design frequency of water gate is only marked as over 20 years, so this fact shows that the standard is unclear. The inland inundation modeling considering the stage in a river and quantitative assessment are required to reduce flood damage. The simulation for internal inundation is very complex and is time-consuming due to considering hydraulic-hydrology characteristics at the same time. Using the already established river master plan, consequently, this study proposed the simple and convenient method for assessment of the internal inundation simulation. Using the proposed method in the upper and middle regions of a river, influences for design frequency or water gate location were assessed by applying the nine probability precipitation with design frequency and by targeting the water gates which are installed in five inlands.

Key Words : Design Frequency, Internal Inundation Modeling, Probability Precipitation, River Hydraulic Structures

1. 서론

우리나라는 1970년대 이후 급격한 인구증가와 산업화로 인해 토지이용이 고도화되었으며, 지리적·기상적 특성으로 인해 연강수량의 60% 이상이 여름철에 집중되고 있다. 이에 더하여, 최근 이상기후 현상으로 인하여 단시간동안 특정지역에 집중되는 국지성호우가 빈번히 발생하고 있다. 특히, 2012년에는 후지와라현상으로 우리나라

를 관통하는 3개의 태풍이 연달아 한반도에 상륙하는 이상기상이 발생하였다. 2012년 6월에서 9월 기간 중 전국 평균 강수량은 1,022mm로 평년(886mm) 대비 1.2배 많았고, 동일기간 중 기상청에서 관리하는 전국 73개 지점 중 1,000mm 이상 강우가 발생된 곳이 39개 지점으로 평년 17개보다 2.3배 많았다. 국지성 호우로 인하여 홍수가 빈번하게 발생함에 따라 그 홍수에 대응하기 위해 원인을 규명할 필요가 있다. 홍수로 인한 피해를 살펴보면 크게 제

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(11기술혁신C06)에 의해 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Gwan Seon Yun(Pusan National Univ.)

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

Received December 13, 2013

Revised (1st January 23, 2014, 2nd January 29, 2014)

Accepted April 10, 2014

외지에서 하천수위 증가로 인한 외수범람과 제내지에서 통수불량으로 인한 내수침수로 나눌 수 있다. 내수침수로 인한 피해를 저감하기 위한 방법 중 하나로 내수침수모의를 통하여 홍수에 대한 취약성을 어느 정도 배제할 필요가 있다고 사료된다. 최근 연구를 살펴보면, 장수형 등 [1] 은 제내지와 하도를 연계하여 제내지 침수해석에 적용하였으며, 백형조 등 [2] 은 외수 및 내수침수에 의한 홍수범람 해석에 관한 연구를 수행하였고, 노준우 등 [3] 은 가동보 및 배수문운동을 고려하여 수로의 홍수위를 산정하는 모형을 구축하였다.

본 연구에서는 지속기간별 확률강우량을 산정하여 외수위, 제내지의 유출수문곡선, 하천수리구조물의 높이(EL.m)를 이용하여 제내지의 침수시간, 침수용적 등을 추정하였으며, 이를 이용하여 제내지 침수모의를 쉽게 수행할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

2. 침수해석모형

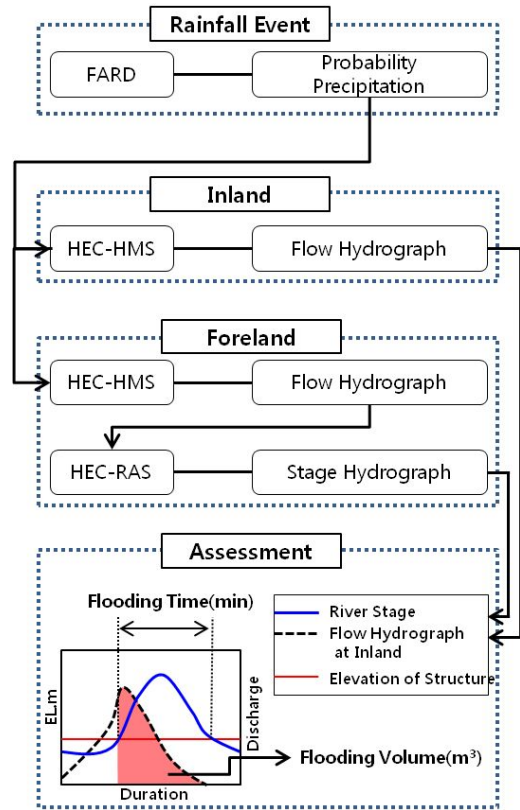
하천수리구조물에 의한 제내지 침수모의를 수행하기 위해 확률강우량 산정은 국립방재연구소에서 개발한 FARD 2006(Frequency Analysis of Rainfall Data)를 채택하였고, 제내지에서 하천수리구조물로 유입되는 수문곡선의 산정은 미육군 공병단의 수문기술센터(Hydrologic Engineering Center)에서 개발한 HEC-HMS 3.5(Hydrologic Modeling System)모형을 채택하여 유출수문곡선(Runoff Hydrograph)을 산정하였으며, HEC-RAS 4.1(River Analysis System)모형을 채택하여 제외지의 수위수문곡선(Stage Hydrograph)을 산정하였다.

3. 연구대상 및 침수해석방법

3.1 침수해석방법

대상구역의 설계빈도에 부합하는 확률강우량을 산정하여 HEC-HMS와 HEC-RAS를 이용하여 간단하면서도 많은 시간을 요하지 않는 침수해석방법을 소개하고자 한다. 설계빈도에 부합하는 지속기간별 확률강우량을 강우유출모형인 HEC-HMS에 적용하여 대상구역의 홍수량을 산정하고, 마찬가지로 산정한 홍수량을 하천수리모

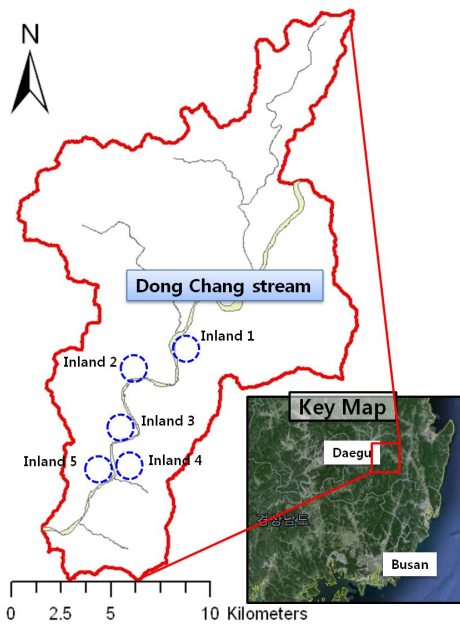
형인 HEC-RAS에 적용하여 제외지의 외수위 수문곡선을 산정한다. 또한, 하천수리구조물이 위치한 상류 배수유역을 대상으로 강우유출모의를 수행하여 제내지의 유출수문곡선을 추정한다. 산정된 제외지의 수위수문곡선과 수리구조물의 높이를 이용하여 통수를 평가할 수 있으며, 동일시간 제내지의 유출수문곡선으로부터 침수량을 추정한다. 이 과정을 다음의 Fig. 1에 나타내었다.



[Fig. 1] Method of Inundation Analysis

3.2 연구대상구역

경상북도 청도군에 위치한 동창천 유역 중 댐 상류유역을 제외한 댐 하류유역을 선정하였고, 댐하류 동창천의 유역면적은 248.83 km²이고, 유로연장은 28.82 km로 총 6개소의 지방하천으로 구성된 산지하천이다. 이 유역에서 제외지의 외수위를 고려한 제내지의 침수해석을 수행하기 위해 다음 Fig. 2와 같이 수리구조물이 위치한 5개소의 소유역을 선정하였고, 소유역의 현황은 다음 Table 1과 같다.



[Fig. 2] Location for the Objected Basin

[Table 1] Status of the Objected Areas

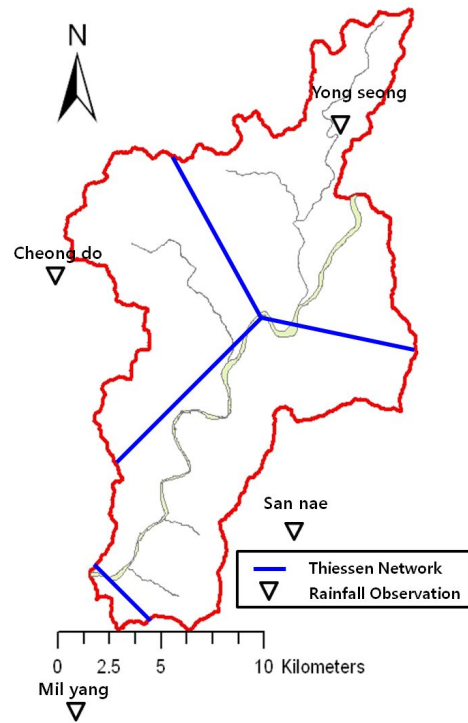
Division	Inland 1	Inland 2	Inland 3	Inland 4	Inland 5
Basin Area (km ²)	6.97	2.94	0.74	1.31	0.96
Channel Length (km)	4.35	3.81	0.96	1.62	1.58
Channel Slope (m/m)	0.149	0.144	0.266	0.269	0.348
Mean Slope (m/m)	0.224	0.224	0.223	0.223	0.223
CN (AMC III)	87.5	87.5	86.9	85.7	85.7
Location	Left	Right	Right	Left	Right

3.3 확률강우량의 산정

본 연구유역 인근에 위치한 강우관측소를 조사한 결과 국토교통부에서 운영하는 산내, 청도, 용성지점과 기상청에서 운영하는 밀양지점이 위치하고 있다. 따라서, 위 4개소의 강우관측소를 대상으로 다음 Table 2와 같이 강우관측현황을 조사한 후 연최대치 강우량을 구한다. 국립방재연구소에서 개발한 FARD(Frequency Analysis of Rainfall Data)를 이용하여 강우빈도해석을 실시하였다.

[Table 2] Status of Rainfall Data

Division	Data	1900 ~ 1999	1970 ~ 1979	1980 ~ 1989	1990 ~ 1999	2000 ~ 2012	Missing data
San nae	Hourly			1980			'93, '96~'02
	Daily	1965					
Cheong do	Hourly			1987			
	Daily			1987			
Yong seong	Hourly			1987			
	Daily			1987			
Mil yang	Hourly		1973				
	Daily		1973				



[Fig. 3] Location of the Rainfall Observations and Thiessen Network

설계홍수량 산정요령 [4]의 국내 강우의 지속시간별 관계에 제시된 환산계수를 이용하여 각 관측소별 고정시간의 강우자료에 의한 확률강우량을 임의의 지속시간에 대한 확률강우량으로 보정한 후 유역평균 확률강우량을 산정하기 위하여 Fig. 2와 같이 티센망을 구축하였고, 티센계수를 산출하여 재현빈도에 따른 지속시간별 유역평균 확률강우량을 Table 3과 같이 산정하였다.

[Table 3] Probability Precipitation

unit : (mm)

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

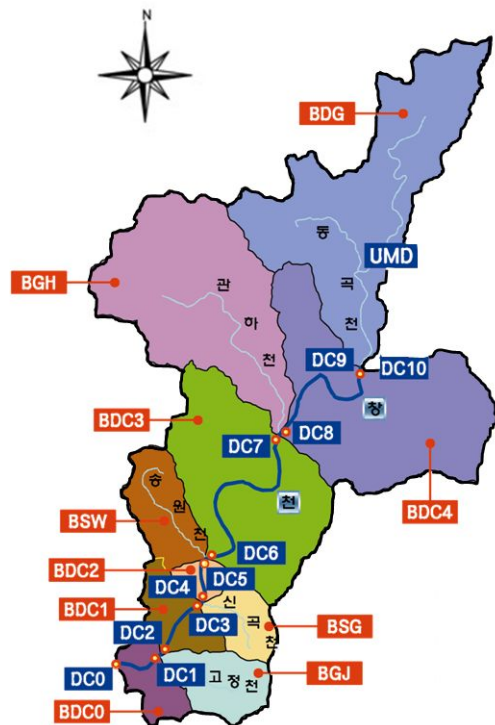
강우의 분포는 최근 자주 사용되고 있는 Huff분포를 채택하였고, Huff 분포에 관한 문헌을 살펴보면 기존 「지역적 설계강우의 시간적 분포(국토교통부, 2000)」를 보완한 최근 연구인 확률강우량도 개선 및 보완 연구 [5]가 대표적이다. 따라서, 상 보고서에 제시된 관측소 중 대상유역에 가장 인접해있는 밀양관측소를 선택하였고, 최빈분위는 3분위, 그리고 실무에서 일반적으로 적용하는 50% 초과확률을 채택하였다.

3.4 강우유출모의

대상유역의 하천은 80년 빈도로 설계된 것을 고려하여 본 연구에서는 50년, 80년, 100년 빈도 확률강우량을 선정하였으며, 「기후변화를 고려한 도시방재성능 목표 설정 방안 연구(2010, 소방방재청)」 [6]에서 선정된 지속기간인 1시간, 2시간, 3시간 지속기간을 채택하여 총 9가지 경우의 강우사상을 Table 4와 같이 선정하였고, 2012년에 수행된 동창천 하천기본계획(안) [7]에 제시된 매개변수를 HEC-HMS모형에 적용하여 Fig. 4와 같이 본류와 지류의 합류 전 후에 해당하는 지점별로 유출수문곡선을 Fig. 5와 같이 산출하였다.

[Table 4] Rainfall Events

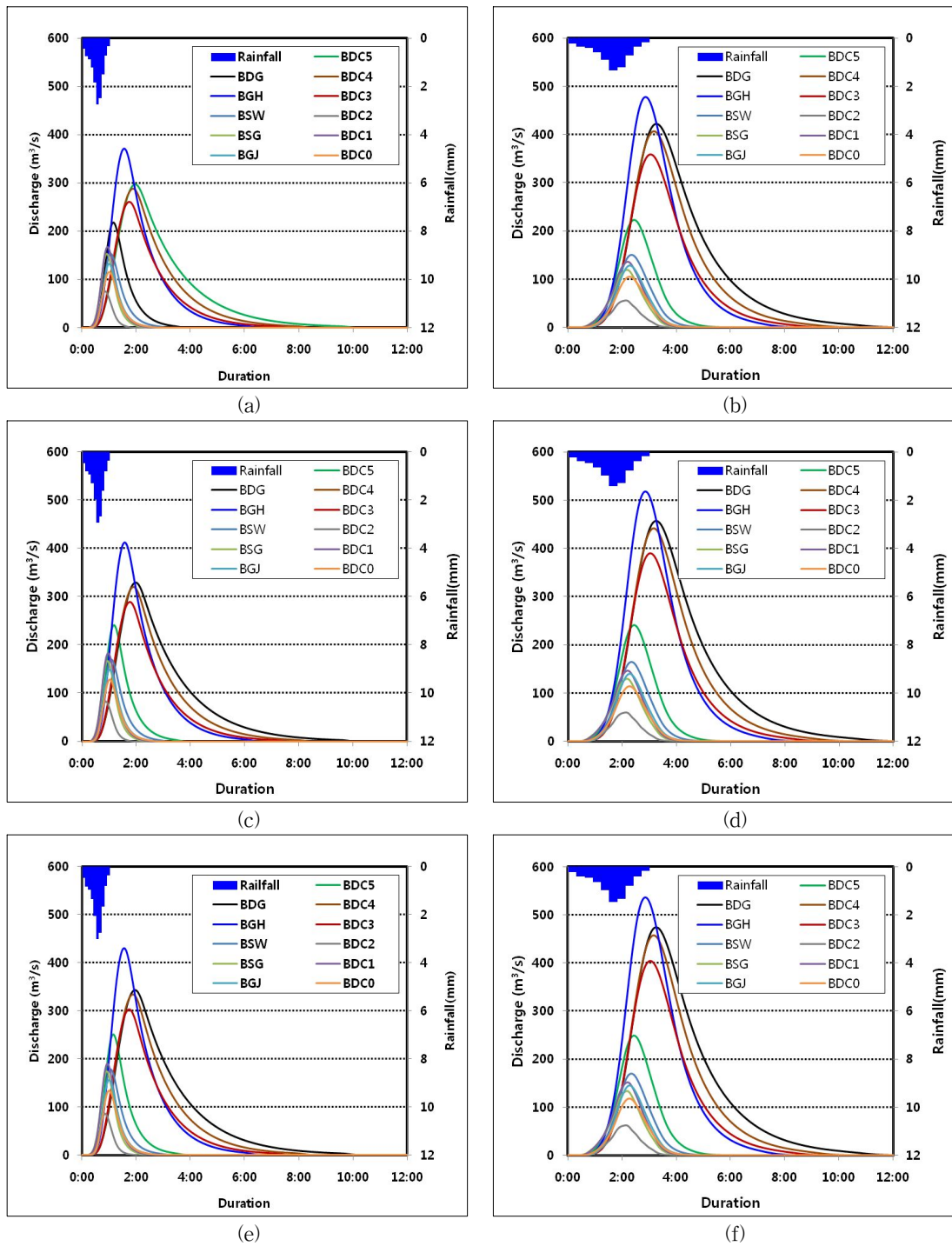
Return Period	Duration (hr)	Rainfall(mm)
50 year	1	68.6
	2	95.9
	3	109.9
80 year	1	73.4
	2	99.7
	3	117.2
100 year	1	75.6
	2	102.6
	3	120.6



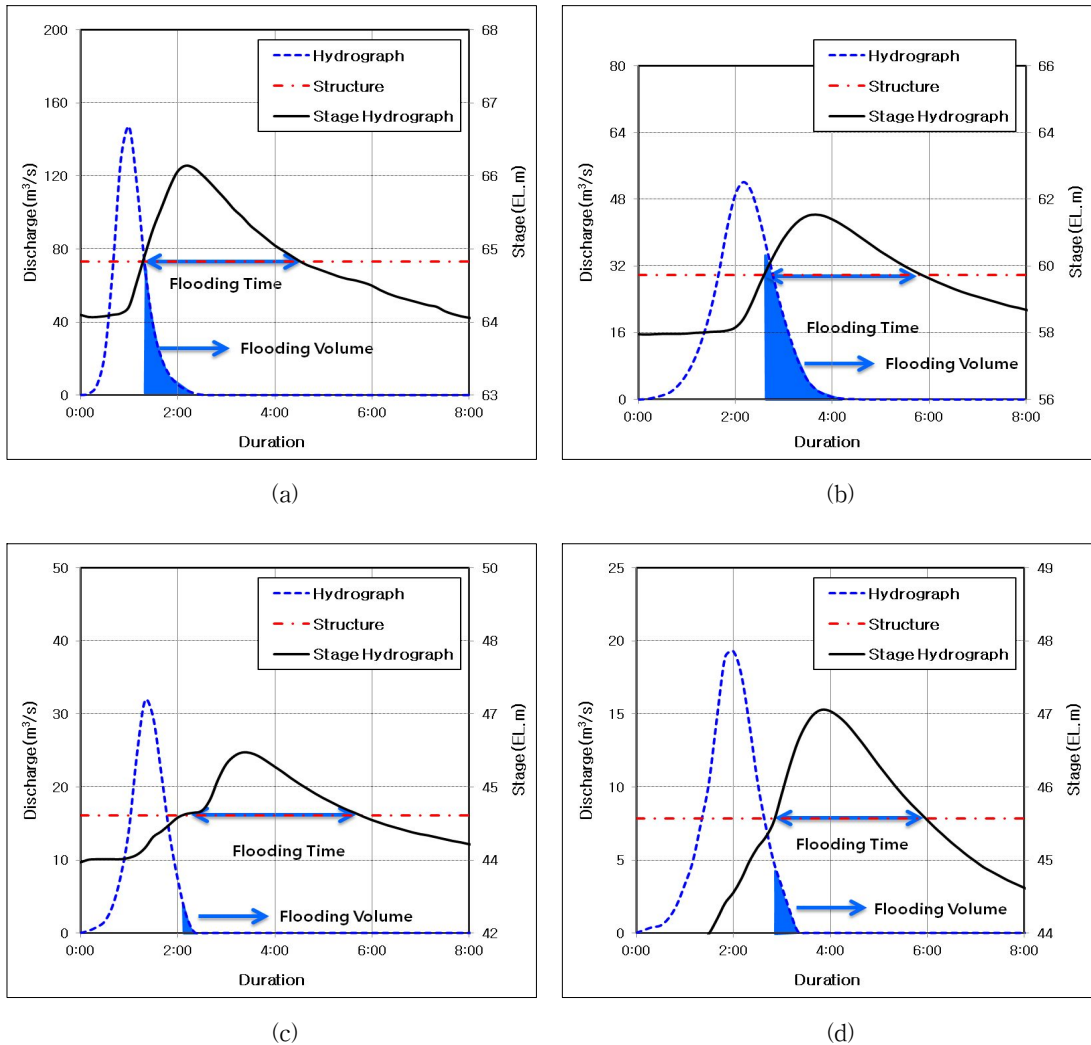
[Fig. 4] Locations of Hydrograph

3.5 하천수리해석

본 절에서는 하천수리해석을 통하여 시간에 따른 외수위를 산정하기 위해 Fig. 5와 같이 3.4절에서 모의한 수문곡선을 HEC-RAS의 상·하류 및 측방 유입수문곡선으로 경계조건을 설정하여 총 9가지의 강우사상을 모의하였다. 하천수리해석을 통하여 나온 수위수문곡선을 이용하여 배수문이 존재하는 제내지의 하류단 외수위 경계조건으로 적용하고자 한다.



[Fig. 5] Runoff Hydrograph for Each Rainfall Event
 (a)50-year 1-hour (b)50-year 3-hour (c)80-year 1-hour (d)80-year 3-hour (e)100-year 1-hour (f)100-year 3-hour



[Fig. 6] Inundation Simulation for the Inlands
 (a)80-year 1-hour for Inland 1 (b)80-year 3-hour for Inland 2 (c)100-year 2-hour for Inland 4 (d)100-year 3-hour for Inland 5

4. 제내지 침수모의 및 결과분석

4.1 제내지 침수모의

Table 1의 수문학적 매개변수를 이용하여 산지하천지역의 도달산정 공식인 Kraven(II)와 저류상수 구하는 경험식인 Sabol를 구하였고, 이들을 HEC- HMS의 Clark 단위유량도법에 적용하여 제내지의 유출수문곡선을 산정하였다. 제내지의 유출수문곡선, 3.5절에서 산정한 제외지의 수위수문곡선 및 하천수리구조물의 높이를 이용

하여 Fig. 6과 같이 시간에 따른 제내지 침수모의를 수행하였다.

Fig. 6에서 파란색 점선은 제내지의 유출수문곡선을 나타내고, 검정색 실선은 제외지의 수위수문곡선을 나타내며, 빨간색 1점 쇄선은 수리구조물의 높이를 나타낸다. 외수위가 수리구조물의 높이를 초과하면 침수가 일어난 것으로 가정하였고, 그에 따른 제내지의 유출수문곡선으로부터 침수량 및 침수시간을 추정하였다.

4.2 결과분석

하천 수리구조물의 설계빈도를 검토하기 위해 간단하면서도 단시간에 활용할 수 있는 방법을 제시하였다. 이 방법을 이용하여 제내지의 침수시간 및 침수량을 Table 5-9와 같이 나타내었다.

[Table 5] Simulation Result for Inland 1

Return Period (yr)	Duration (hr)	Flooding Time (min)	Flooding Volume (m ³)
50	1	180	81,060
	2	210	190,860
	3	250	349,080
80	1	190	89,220
	2	220	201,000
	3	250	374,100
100	1	190	92,400
	2	220	207,780
	3	250	387,780

[Table 6] Simulation Result for Inland 2

Return Period (yr)	Duration (hr)	Flooding Time (min)	Flooding Volume (m ³)
50	1	110	5,220
	2	150	17,520
	3	180	64,140
80	1	120	5,880
	2	150	18,480
	3	190	68,040
100	1	130	13,140
	2	160	19,080
	3	190	70,800

[Table 7] Simulation Result for Inland 3

Return Period (yr)	Duration (hr)	Flooding Time (min)	Flooding Volume (m ³)
50	1	-	-
	2	-	-
	3	140	600
80	1	-	-
	2	-	-
	3	150	1,920
100	1	-	-
	2	-	-
	3	160	2,100

[Table 8] Simulation Result for Inland 4

Return Period (yr)	Duration (hr)	Flooding Time (min)	Flooding Volume (m ³)
50	1	-	-
	2	-	-
	3	220	12,660
80	1	-	-
	2	200	1,740
	3	230	13,260
100	1	-	-
	2	210	1,740
	3	240	22,620

[Table 9] Simulation Result for Inland 5

Return Period (yr)	Duration (hr)	Flooding Time (min)	Flooding Volume (m ³)
50	1	-	-
	2	-	-
	3	160	2,640
80	1	-	-
	2	-	-
	3	170	2,640
100	1	-	-
	2	-	-
	3	170	2,880

제내지 침수모의 결과 종류에 해당하는 Inland 1과 Inland 2에서는 하루에 해당하는 Inland 3, Inland 4, Inland 5에 비해 외수위에 영향을 많이 받아 통수능이 부족하였으며, 지속기간이 1시간인 경우 Inland 3, Inland 4, Inland 5에서는 제내지의 유출수문곡선의 폭 및 도달시간이 짧고, 통수능에 대한 외수위의 영향이 미치지 않아 침수가 일어나지 않는 것으로 모의되었다. 또한, 강우의 지속기간이 1시간에 비해 3시간일 때 전반적으로 침수량 및 침수시간이 긴 것으로 모의되었고, 이는 곧 하천의 도달시간 및 수위수문곡선의 영향이 큰 것으로 분석되었다.

또한, 제내지 침수모의는 경계조건을 적용함에 있어 복잡하고, 수리·수문학적으로 많은 시간을 필요로 한다. 그러나 본 연구에서 제안한 방법은 기존 보고서에 명시된 설계확률강우량을 이용하여 배수문이 위치한 상류배수유역의 수문학적 매개변수만을 산정한다면 제내지의 침수시간 및 침수량을 단시간에 추정할 수 있다는 장점이 있다.

5. 결론

제안된 방법을 적용하여 제내지의 침수모의결과로부터 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 연구대상유역 중 증류에 해당하는 Inland 1과 Inland 2에서는 하류에 해당하는 Inland 3, Inland 4, Inland 5에 비해 외수위에 영향을 많이 받아 통수능이 부족한 것으로 모의되었다.
- (2) 강우의 지속시간이 1시간에 비해 3시간일 때 침수량 및 침수시간이 큰 것으로 모의되었고, 이는 곧 하천의 도달시간 및 수위수문곡선의 영향이 큰 것으로 분석되었다.
- (3) 구조물이 하천의 위치에 따라 침수결과가 다르게 모의됨을 알 수 있었고, 이는 수공구조물의 설계시 배수유역의 규모 및 외수위 변화를 고려한 부정류해석이 수행되어야 한다고 판단된다.
- (4) 본 연구에서 제안한 방법은 하천기본계획, 풍수해저감종합계획, 유역종합치수계획 등을 수립할 때 산정된 확률강우량 및 홍수량을 이용하고, 하천수리구조물의 배수유역에 해당하는 수문학적 매개변수만을 산정한다면, 간단하면서도 시간이 오래 소요되지 않는 제내지의 안정성을 간략히 평가할 수 있을 것으로 사료된다.

향후 본 논문에서 제안한 방법을 이용하여 기 수립된 하천관련 보고서 및 내수침수피해현상과 비교하여 정량적인 평가를 하기 위하여 보완할 예정이다.

Reference

- [1] S. H. Jang, J. Y. Yoon, Y. N. Yoon, 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, 2006.
- [2] H. J. Baek, H. S. Lee, Y. K. Yi, 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] J. W. Noh, S. J. Lee, M. K. Park, M. G. Shim, "Development of flood routing model in the Ara waterway applying HEC-RAS", *Proceedings '12 of*

Korea Water Resources Association, pp. 409-413, 2012.

- [4] Ministry of Land, Infrastructure and Transport. *Method of design flood*. Government Complex-Sejong, Sejong-si, Korea. p. 3-4, 2012.
- [5] 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 p. 43, 2011.
- [6] National Emergency Management Agency, Study on the Improvement of Urban Disaster Prevention Performance Considering Climate Change. 209 Seojoingdae-ro, Seoul-si, Korea. 2010.
- [7] Gyungasngbuk-Do. Dongchang-Stream River master plan(alternation), 40 Yeonam-Ro, Daegu- si, Korea, 2012.

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 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

노 현 석(Hyun Suk Noh)

[정회원]



- 2013년 8월 : 서울과학기술대학교
건설시스템디자인공학과 (공학사)
- 2013년 9월 ~ 현재 : 부산대학교
사회환경시스템공학과 석사과정

<관심분야>

댐, 수리수문, 하천

윤 관 선(Gwan Seon Yun)

[정회원]



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

<관심분야>

댐, 수리수문, 하천