

2017년 7월 홍수에 의한 오송생명과학단지 홍수 분석

홍은비*, 맹승진**, 김다예**, 김민수**, 장형준**

*(주)우수안, **충북대학교

e-mail:enbi904@naver.com

Flood Analysis of Oson Biovalley by Flood in July 2017

Eun-Bi Hong*, Seung-Jin Maeng**, Da-Ye Kim**, Min-Soo Kim**, Hyung-Joon Chang***

*Usuan Inc.

**Dept. of Agriculture and Rural Engineering, Chung-Buk National University

***Dept. of Civil Engineering, Chung-Buk National University

요 약

본 논문에서는 2017년 7월16일 청주 지역에 발생한 홍수사상을 분석하고, 오송 지역에 미치는 영향을 확인하고자 관측 수문자료를 바탕으로 강우빈도 해석을 실시하였다. 강우빈도 해석을 통하여 홍수사상의 재현빈도를 산정하고, 홍수사상이 확률강우량 산정에 미치는 영향을 확인하였다. 「조천 하천기본계획(2011)」과 「오송 제2생명과학단지조성사업 사전재해영향성검토서(2012)」를 바탕으로 하여 홍수량 및 홍수위를 산정하였다. 확률강우량의 시간 분포 방법은 Huff 4 분위법 중 3분위방법을 적용하였고 설계홍수량은 강우-유출 모형에 시간 분포된 확률강우량의 강우 주상도를 적용하여 산정하였다.

1. 서론

2017년 7월16일에 청주·오송 지역에 일강수량 290.2mm의 집중호우가 발생하였다. 이에 따라 호우경보가 발령되었으며, 발생유량에 따른 인근 농경지 및 주택의 침수가 발생하였다. 또한, 현장 내 PC BOX 토사 유입 및 우·오수, 상수 관로 등이 침수/유실 되었다.

따라서 본 논문에서는 2017년 7월16일 청주 지역에 발생한 홍수사상을 분석하고, 오송 지역에 미치는 영향을 확인하고자 관측 수문자료를 바탕으로 강우빈도 해석을 실시하였다. 강우빈도 해석을 통하여 홍수사상의 재현빈도를 산정하고, 홍수사상이 확률강우량 산정에 미치는 영향을 확인하였다.

2. 홍수량 및 홍수위 산정 이론

2.1 설계홍수량 및 홍수위 산정 방법

강우-유출 모형을 적용한 설계홍수량 산정방법은 확률강우량을 산정하고, 유역의 대표단위도를 선정하여 직접 유출 수문곡선을 계산한 후, 기저유량을 더하여 최종적으로 설계홍수수문곡선을 결정하는 단계를 거친다(국토해양부, 2012).

유역의 대표단위도는 다수의 홍수사상별 강우-유출 자료를 바탕으로 유도될 수 있다. 그러나 우리나라는 관측 수문자료가 부족한 실정이기에 미계측 유역에 적용하는 합성단위

도 방법을 유역의 대표단위도로 사용한다. 다양한 합성단위도법 중 우리나라에 주로 활용되는 방법은 Clark, NRCS, Snyder, Nakayasu 단위도법 등이다.

2.1.1 유역 추적 단위도법

(1) Clark 단위도법

Clark 단위도법은 1개의 선형저수지가 유역 최종 출구에 위치한다고 가정하고 유역에 순간적으로 내리는 단위유효우량(1mm 또는 1cm)을 홍수도달시간과 누가면적의 관계를 활용하여 홍수추적을 실시하여 유역의 순간단위도를 작성한다. Clark 단위도법은 강우에 대한 전이현상을 반영할 뿐만 아니라 유역 최종 출구에 위치한다고 가정한 선형저수지를 통하여 유역의 저류효과까지 고려한 방법이다. 또한 이 방법은 지역성을 가지지 않아 다른 방법과 비교하여 비교적 객관적인 단위도법이라 할 수 있으며, 자연하천에 적용하기에 적합하다.

(2) NRCS 단위도법

NRCS 단위도법은 미국자연자원보호청(Natural Resources Conservation Service, NRCS)이 합성단위우량도를 작성하기 위하여 개발한 단위도법으로, 무차원 단위도를 이용한다. 무차원 수문곡선은 미국 내 다양한 크기의 유역으로부터 수집된 실제 단위도를 해석하여 얻은 결과로써, 유역의 특성과 관계없이 사용할 수 있다는 장점이 있다.

2.1.2 하도 홍수추적(Muskingum 방법)

하도의 홍수추적(Channel Flood Routing)은 하도구간으로 유입되는 수문곡선을 유출되는 수문곡선으로 변환시켜주는 절차이다. 하도 홍수추적에 적용되는 방법은 Muskingum 및 Muskingum-Cunge 방법이 있으나, 하도 홍수추적에 따른 침투홍수량의 변화가 미미하기에, 일반적으로 하도 홍수추적 방법은 Muskingum 방법을 사용하였다.

2.1.3 저수지 홍수추적(Puls 방법)

저수지 홍수추적은 저수지로 유입되는 수문곡선을 저수지에서 유출되는 수문곡선으로 변환시켜주는 절차이다.

$$\frac{1}{2}(I_1 + I_2)\Delta t + (S_1 - \frac{1}{2}O_1\Delta t) = (S_2 + \frac{1}{2}O_2\Delta t) \quad (1)$$

여기서, I_1 및 I_2 는 시간 Δt 에 대한 유입량(m^3/s), S_1 및 S_2 는 시간 Δt 에 대한 저류량(m^3), O_1 및 O_2 는 시간 Δt 에 대한 방류량(m^3/s)이다. 식 (4)의 좌변에 위치한 초기 값들을 활용하여 첫 번째 추적을 실시하여 우변의 미지항들을 산정한다. 다음 추적은 I_2, S_2, O_2 가 I_1, S_1, O_1 이 되어 동일한 방법을 반복하여 홍수추적을 완료한다.

본 논문에서는 관수로 공식을 적용하여 수위-방류량 관계곡선을 산정하며, 이에 활용된 공식은 다음과 같다.

$$O = \frac{A_p \sqrt{2gH'}}{\sqrt{K_e + K_b + K_f + K_0}} \quad (2)$$

여기서, O 는 방류량(m^3/s), A_p 는 관수로의 단면적(m^2), g 는 중력가속도($9.8m/s^2$), H' 는 저수지수위에서 수평관로의 유출부 중심선(0.6D)까지의 수두(m), 하류부의 통제를 받을 때는 하류부와의 수위차(m), K_e 는 입구부 손실계수, K_b 는 만곡부 손실계수, K_f 는 마찰 손실계수, K_0 는 출구부 손실계수이다(소방방재청, 2005).

3. 대상지역 및 연구방법

본 논문에서는 조천 및 오송 제2생명과학단지를 대상유역으로 선정하여, 유역 홍수 수문분석을 실시하였다.

3.1 대상지역

3.1.1 조천유역

조천은 금강 미호천 수계의 지방하천으로 세종특별자치시 전의면에 위치한 비암사 인근에서 발원하여 다방리에서 하천을 형성한 후 북측으로 흐른다. 덕현천 합류지점부터는 동남

쪽으로 흘러, 하구로부터 약 7.0~8.0km 구간에 위치한 충남·북도 경계 및 상조천교 수위관측소 지을 관류한 후 시가지를 지나 조치원을 변암리에서 미호천으로 유입된다. 유역면적은 135.53km²이고, 유로연장은 34.71km이다.

3.1.2 오송 제2생명과학단지

오송 제2생명과학단지는 충청북도 청주시 흥덕구 오송읍 정중리 일원으로, 택지 조성 공사 중으로 대부분 나대지로 구성되어 있다. 대상유역의 면적은 3.3km²이며, 남측에는 국가하천인 미호천이, 서측에는 지방하천인 조천이 위치하고 있다.

3.1.3 2017년 7월16일 기상관측자료

2017년 7월 16일에 발생한 청주 및 인근 지역의 집중호우는 오전 4시 30분부터 청주지역에 강우가 시작되었으며, 오전 6시 40분에 호우주의보가 발표되었다. 집중적으로 강우가 발생하기 시작한 오전 7시 10분에는 주의보가 경보로 대치되었으며, 오전 11시까지 시간 당 최대 91.8mm의 집중호우가 발생하였다.

대상유역 내에 위치한 국토교통부 관할 상조천교 수위관측소의 유량은 관측 수위를 수위-유량 관계곡선식을 적용하여 산정되었다. 강우 자료는 청주시상지청과 천안기상대의 강우자료와 Thiessen 계수(청주; 0.435, 천안; 0.565)를 활용하여 산정되었다.

침투홍수량은 630m³/s로 기록되었으며, 발생시간은 16일 오전 11시 10분으로 나타났다. 이는 최대강우강도 발생시간(13.5mm/10min, 16일 오전 10시 50분)보다 20분 늦은 것으로 확인하였다.

3.2 연구방법

3.2.1 조천 및 오송 제2생명과학단지의 홍수량 산정

「조천 하천기본계획(2011)」을 바탕으로 한 조천의 설계홍수량은 조천 하류에 위치한 미호천과의 합류점에서 산정된 침투홍수량이 적용된다.

확률강우량의 시간 분포 방법은 Huff 4분위법 중 3분위(국토해양부, 2012) 방법이 적용된다. 설계홍수량은 강우-유출 모형에 시간 분포된 확률강우량의 강우 주상도를 적용하여 산정된다.

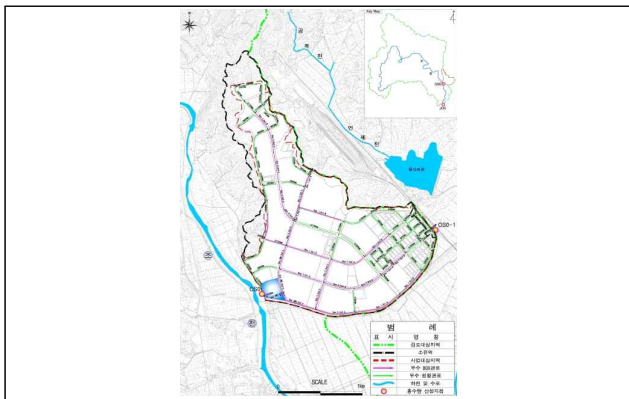
조천 및 오송 제2생명과학단지의 개발 전·중·후 유역 특성인자 및 산정 모형 매개변수는 [표 1]과 같고, 이를 활용하여 강우-유출 모형을 구축하였다. 모형 구축에 적용된 유역도는 [그림 1]과 같다(한국산업단지공단, 충북개발공사, 2012).

개발 중 유역 특성인자 및 산정된 모형의 매개변수는 제시되지 않아(한국산업단지공단, 충북개발공사, 2012), CN 값만을 달리하고 개발 전 유역 특성 및 모형 매개변수와 동일한 값을 활용한다. 개발 중 CN은 나대지 및 인공녹지의 지수(국토

해양부, 2012)를 활용하였으며, 그 중 토양형별 면적분포를 참고하여 B형(AMC II 조건, 86)을 선택한다(한국산업단지공단, 충북개발공사, 2012).

[표 1] 개발 전·후 유역 특성인자 및 산정 모형 매개변수

구분	오송 제2생명과학단지(OS0)			구분	조천(J00)	
	개발 전	개발 중	개발 후		개발 전	개발 후
유역면적(km ²)	3.7	3.7	3.7	유역면적(km ²)	137.24	138.63
유로연장(km)	3.16	3.16	3.27	유로연장(km)	34.32	34.32
유로경사	0.027	0.027	0.026	유로경사	0.009	0.009
SCS-CN	85.90	93.39	91.93	SCS-CN	85.17	85.35
도달시간(min)	26.7	26.7	27	도달시간(min)	255.0	255.0
지체시간(min)	18.9	18.9	19.1	지체시간(min)	180.0	180.0



[그림 1] 조천 및 오송 제2생명과학단지 유역도



[그림 2] 조천 단면 번호 및 위치 개략도

4. 결과

4.1 2017년 7월 16일 조천 홍수량 및 홍수위 산정

본 논문에서는 2017년 7월 16일에 발생한 집중호우가 오송 제2생명과학단지 및 인근 지역에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 위하여 조천의 홍수량 및 홍수위 산정이 필요하며, 특히 계획단면 중 오송 제2생명과학단지 인근에 위치한 No.20 지점([그림 2])의 홍수위를 분석할 필요가 있다(충청남도, 2011).

두 가지 방법으로 2017년 7월 16일 홍수량 및 홍수위가 산정된다. ①은 「조천 하천기본계획(2011)」을 바탕으로 하며,

②는 「오송 제2생명과학단지조성사업 사전재해영향성검토서(2012)」를 바탕으로 하여 홍수량 및 홍수위를 산정한다. 홍수위 산정을 위한 조천 하류 경계조건으로 적용된 기점홍수위는 50년 빈도 개수 후 기점홍수위가 26.66m, 100년 빈도 개수 후 기점홍수위는 26.97m이다.

HEC-RAS 모형에 적용되는 조도계수는 Manning 계수가 활용되며, 모든 구간에 동일한 조도계수를 적용하였을 경우 0.032이며, 구간별로 다른 조도계수를 적용하였을 경우 No.0~No.15에서 0.027, No.16~No.33에서 0.029이다.

2017년 7월 16일 조천의 모의 홍수량은 천안기상대 및 청주 기상지청의 관측 강우 자료를 점평균(청주 : 0.435; 천안 : 0.565)한 강우량을 적용하여 산정하였다. 모의된 홍수량은 「조천 하천기본계획(변경)(2011)」의 계획단면을 바탕으로 구축된 HEC-RAS 모형에 적용되며, 이를 통하여 계획홍수위를 산정하였다(충청남도, 2011). 이때, 조천 하류(미호천 합류점)의 경계조건은 시간별 모의된 미호천 수위가 적용되었다. 미호천 수위는 조천 합류 전에 위치한 석화 수위관측소와 조천 합류 후 위치한 합강 수위관측소의 관측 유량 및 수위 자료를 미호천 HEC-RAS에 적용하여 산정하였다.

2017년 7월 16일 오송 제2생명과학단지 인근에 위치한 No.20 지점의 시간별 모의 홍수위 결과는 [표 2]와 같다.

[표 2] 오송 제2생명과학단지 인근지점 시간별 홍수위 모의 결과

시간	강우량 (mm)	미호천 수위 (EL.m, 조천 합류 후)	①		②	
			모의 홍수량 (m ³ /s)	모의 홍수위 (EL.m)	모의 홍수량 (m ³ /s)	모의 홍수위 (EL.m)
01:00	0.7	17.24	0.9	23.88	0.7	23.86
02:00	0.7	17.21	2.3	23.93	2.4	23.93
03:00	0.0	17.2	3.2	23.97	4.5	23.99
04:00	1.8	17.17	4.9	24.01	6.6	24.04
05:00	1.5	17.15	8.3	24.09	10.2	24.11
06:00	8.1	17.14	20.1	24.30	20.8	24.29
07:00	27.6	17.15	79.5	24.98	67.7	24.80
08:00	53.5	17.79	264.3	26.33	218.6	25.97
09:00	35.5	19.27	544.2	27.40	487.6	27.05
10:00	52.8	20.17	844.7	28.19	805.0	27.93
11:00	65.5	21.54	1197.9	28.95	1125.9	28.62
12:00	9.5	23.77	1428.4	29.39	1374.6	29.09
13:00	0.3	25.18	1328.9	29.21	1389.6	29.12
14:00	0.1	25.48	1026.6	28.61	1162.3	28.69
15:00	0.0	25.34	680.7	27.80	828.2	27.99
16:00	0.0	25.08	361.8	26.75	521.1	27.18
17:00	0.0	24.69	141.3	25.61	326.8	26.48
18:00	0.0	24.05	45.8	24.68	207.4	25.89
19:00	0.0	23.21	22.6	24.34	130.0	25.38
20:00	0.0	22.63	10	24.13	81.6	24.92
21:00	0.0	22.08	2.6	23.94	51.3	24.64
22:00	0.0	21.58	1.2	23.89	32.4	24.44
23:00	0.0	21.13	0.1	23.81	20.1	24.28
24:00	0.0	20.71	0.0	23.81	12.1	24.14

4.2 2017년 7월 16일 오송 제2생명과학단지 홍수량 산정

2017년 7월 16일 홍수사상에 다른 오송 제2생명과학단지에 발생한 유출량은 「오송 제2생명과학단지조성사업 사전재해영향성 검토서(2012)」를 바탕으로 구축된 HEC-HMS (NRCS 방법) 모형 중 오송 제2생명과학단지 개발 중 모형을

적용하여 산정하였다. 모형에 적용된 관측 강우 자료는 보다 정확한 유출량 산정을 위하여 단지와 가장 인접하게 위치하고 있는 오송읍 사무소 관측소의 강우 자료를 활용하였다. 단지 내에서 발생한 유출은 우선적으로 저류지로 유입되며, 저류지 유효저류용량은 $130,545\text{m}^3$ 이다. 저류지 유입량에 따른 저류량 및 방류량 산정은 Puls 방법을 적용하여 저수지 홍수 추적을 실시하였다. 방류량은 저류지에 1형 강관배수로가 위치하는 것으로 고려하여 관수로 공식을 적용하여 산정하였으며, 홍수추적을 위한 초기 저류량 및 방류량은 [표 3]을 활용하여 산정하였다.

[표 3] 저류지의 초기 저류량, 초기 수위 및 1형 강관배수로 면적

구분	값
저류지 초기 저류량	$18,649.29\text{m}^3$
저류지 초기 수위	26.50m
1형 강관배수로 면적	1.13m^2

이를 바탕으로 산정된 오송 제2생명과학단지 유출량 결과는 [표 4]와 같다.

2017년 7월 16일 01:00시부터 발생한 초기 강우에 의하여 유출량이 발생하였으며, 이는 저류지로 우선 유입되었다. 01:00시부터 06:00시까지는 저류지로의 유입량보다 방류량이 많아 저류량이 계속적으로 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 07:00시부터 1시간 동안 91.0mm 의 강우량이 발생하여 $212,400\text{m}^3$ 의 유출량이 발생하였으며, 이로 인하여 저류지의 유효저류용량을 넘어서는 초과 유량이 발생하기 시작하였다. 이후에도 강우에 의하여 초과 유출량이 계속적으로 발생하였으며, 13:00까지 총 $534,702\text{m}^3$ 의 초과 유량이 발생하였다. 초과 유량은 저류지 방류부, 비상 여수로 및 공사가도를 통한 조천으로 유입, 그리고 정중3리 농경지 방향 유입으로 구분되어 유출되었다.

[표 4] 오송 제2생명과학단지 유출량 분석(2017.7.16.)

시간	조천		저류지 수위	강우량	Q_0 (유역 총 유출량, m^3)	Q_R (저류량, m^3)	Q_1 (초과 유량, m^3)	비고
	수위	유속 (m/s)						
01:00	23.88	0.16	26.45	1.0	-	-1,742	1,742	
02:00	23.93	0.24	26.41	0.0	-	-1,570	1,570	
03:00	23.97	0.27	26.37	0.0	-	-1,415	1,415	
04:00	24.01	0.32	26.33	2.0	-	-1,276	1,276	
05:00	24.09	0.39	26.30	2.0	360	-808	1,168	
06:00	24.30	0.54	26.28	0.0	-	-1,071	1,071	
07:00	24.98	0.89	28.96	91.0	212,400	119,778	92,622	유효저류 용량 초과
08:00	26.33	1.21	29.50	53.0	202,680	-	202,680	
09:00	27.40	1.45	29.50	28.0	127,800	-	127,800	
10:00	28.19	1.69	29.50	19.0	83,520	-	83,520	
11:00	28.95	1.91	29.50	0.0	20,160	-	20,160	
12:00	29.39	2.03	29.50	1.0	6,480	-	6,480	
13:00	29.21	1.98	29.50	0.0	1,440	-	1,440	
14:00	28.61	1.80	29.50	0.0	-	-	-	
중략								
24:00	23.81	0.09	29.50	0.0	-	-	-	

Q_0 : 오송 제2 생명과학단지 공사부지의 유출량

Q_R : 오송 제2 생명과학단지 공사부지의 저류지 용량

Q_1 : 초과 유량

5. 결론

청주지역에 발생한 집중호우는 청주기상지청을 기준으로 91.8mm 의 지속기간 1시간 최대강우량을, 264.6mm 의 지속기간 4시간 최대강우량을 기록하였다. 청주기상지청의 1967~2016년 관측 강우 자료를 바탕으로 강우빈도 해석한 결과, 지속기간 1시간 강우량은 재현빈도가 228년, 지속기간 4시간 강우량은 재현빈도가 7,369년으로 산정되었다. 또한, 집중호우를 포함한 청주기상지청의 100년 빈도 확률강우량은 포함하지 않은 경우보다 0.4mm 에서 최대 23.0mm 크게 산정되었다. 이를 통하여 집중호우가 고강도의 강우를 기록하였음을 확인할 수 있고, 청주 및 오송 지역에 비교적 큰 영향을 미쳤을 것이라고 판단할 수 있다.

집중호우에 의한 오송 제2생명과학단지 유출량을 산정한 결과, 2017년 7월 16일 05:00시부터 유출량이 발생하였으며, 당일 13:00시까지 총 약 $655,000\text{m}^3$ 이 발생하였다. 이로 인하여 단지 내의 저류지 유효저류용량을 초과하였을 뿐만 아니라, 총 약 $535,000\text{m}^3$ 의 사업지로 부지의 유량이 발생하였다. 이는 조천으로 유입될 뿐만 아니라, 정중3리 농경지 방향으로 유출되어 단지 남쪽에 위치한 농경지 및 주택이 침수되는 피해를 발생시켰을 것으로 추정된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)의 국토교통지역혁신기술개발사업(21RTD-C161134-01)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 국토해양부, “확률강우량도 개선 및 보완 연구”, 2011년.
- [2] 국토해양부, “설계홍수량 산정요령”, 2012년.
- [3] 소방방재청, “지역별 방재성능목표 설정·운영 지침”, 2011년.
- [4] 충청남도, “조천 하천기본계획”, 2011년.
- [5] 한국산업단지공단, 충북개발공사, “오송 제2생명과학단지 조성사업 사전재해영향성검토서”, 2012년.