



강우유출수 관리시설의 설계를 위한 강우사상 특성 분석

Analysis of Storm Event Characteristics for Stormwater Best Management Practices Design

김학관^{*,†} · 지현서^{*} · 장선숙^{*}

Kim, Hak Kwan · Ji, Hyun Seo · Jang, Sun Sook

Abstract

The objective of this study is to investigate whether the daily rainfall depth derived from daily data represents the event rainfall depth derived from hourly data. For analysis, the 85th, 90th, and 95th percentile daily rainfall depths were first computed using daily rainfall data (1986~2015) collected at 63 weather stations. In addition, the storm event was separated by the interevent time definition (IETD) of 6, 12, 18, and 24 hr using hourly rainfall data. Based on the separated storm events, the 85th, 90th, and 95th percentile event rainfall depths were calculated and compared with the using hourly rainfall data with the 85th, 90th, and 95th percentile daily rainfall depths. The event rainfall depths computed using the IETD were greater than the daily rainfall depths. The difference between the event rainfall depth and the daily rainfall depth affects the design and size of the facility for controlling the stormwater. Therefore, the designer and policy decision-maker in designing the stormwater best management practices need to take into account the difference generated by the difference of the used rainfall data and the selected IETD.

Keywords: Stormwater management, Interevent time definition, Design rainfall, Low impact development, Storm event analysis

1. 서론

점오염원 위주의 정책만으로는 획기적인 수질 개선이 곤란하고 비점오염원의 비중이 증가함에 따라 비점오염원의 관리의 필요성이 제기되면서 우리나라 정부는 2004년 관계부처 합동으로 4대강 비점오염원관리 종합대책을 수립하였으며, 2012년에는 제2차 종합계획(2012~2020)이 수립되어 비점오염저감을 위한 다양한 대책이 현재 추진되고 있다(RGM, 2012). 이러한 비점오염원관리 정부대책의 효율적 추진을 위해 일정규모 이상의 개발사업과 신규사업장은 비점오염원 저감시설 설치를 의무화하였고, 비점오염원으로 인한 수질문제가 심각한 지역을 비점오염원관리지역으로 지정하여 관리하고 있다(Kim et al., 2015; MOE, 2016). 최근에는 도시 불투수면 증가로 인해 발생하는 물순환 왜곡 및 비점오염 문제를 해결하기 위해 신규개발지역의 경우에는 개발 전의 유출상태를 유지하는 목표를 달성하기 위해 사전 예방적 차원의 저영향개발(Low Impact Development, LID) 기술의 적용을

위한 다양한 정책이 추진되고 있다(RGM, 2012; NIER, 2014). 기존 개발지역에서도 일정량의 강우유출수를 관리하기 위해 2016년 환경부는 인구 10만명 이상의 대도시 중에서 광주광역시, 대전광역시, 울산광역시, 경상북도 안동시, 경상남도 김해시 등 5개 도시를 물순환 선도도시로 선정하여 물순환 개선사업을 추진하고 있다(Kwon et al., 2016).

사업대상 지역 및 불투수 지역에서 발생하는 강우유출수 저감 또는 비점오염원 오염물질의 처리를 위해 설치할 비점오염저감시설의 규모 및 용량은 해당지역의 강우량, 강우빈도, 유출량, 오염특성 등을 고려하여 결정한다. 비점오염저감시설의 규모 및 용량을 결정하기 위해 다양한 방법들이 사용되고 있으며, 일반적으로 연중 24시간 강우사상 전체의 90% 이상에 해당되는 강우량으로 용량을 결정하는 방법, 1 inch (25.4 mm) 강우량을 임의적으로 적용하는 방법, 1년 빈도 24시간 강우사상 또는 24시간 강우사상의 80~95퍼센타일에 해당하는 강우량을 처리할 수 있는 용량으로 결정하는 방법 등이 많이 사용되고 있다(USEPA, 2009; USEPA, 2014; MOE, 2016). 우리나라의 경우 비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼(MOE, 2016)에 따르면 비점오염저감시설의 용량은 수질처리용량(Water Quality Volume, WQV)과 수질처리유량(Water Quality Flow, WQF)으로 구분하여 결정한다(MOE, 2016). 수질처리 용량의 경우에는 설계강우량으로 환산된 누적유출고와 배수면적에 의해 결정되며, 수질처리 유량의 경우에는 최근 10년 이상의 시강우자료를 활용하여 강우강

* Institutes of Green Bio Science and Technology, Seoul National University

† Corresponding author

Tel.: +82-33-339-5812 Fax: +82-33-339-5830

E-mail: hkkimbst@snu.ac.kr

Received: September 6, 2017

Revised: October 10, 2017

Accepted: October 11, 2017

도의 연간 누적발생빈도 (cumulative occurrence frequency) 80 %에 해당하는 강우강도를 결정하고 합리식을 이용하여 산정한다.

이처럼 강우유출수 관리 및 비점오염원 관리를 위한 시설의 설계용량을 결정하는데 설계강수량 및 강우강도의 자료가 필요하며 이러한 자료 분석을 위해서는 강우분석이 반드시 필요하다 (Shrestha et al., 2014). 강우분석시 연속된 강우 관측 자료로부터 개별 강우사상을 분리할 수 있는 기준으로 적용되고 있는 개념이 IETD (Interevent Time Definition)이다. IETD는 장기간에 관측된 강우자료로부터 각각의 강우사상을 분리하는 최소한의 무강우시간을 의미한다 (Adams and Papa, 2000; Choi et al., 2011). IETD는 비점오염저감시설의 용량 결정, 저류지 내 체류시간 및 방류시간을 확보하여 설계에 반영하는 측면에서도 매우 중요하다. IETD를 10시간으로 결정하여 저류시설을 설계할 경우 어떤 강우사상 종료 후 적어도 10시간 이내에는 후속 강우사상이 발생하지 않기 때문에 최소 10시간 동안은 저류시설에 저류된 강우유출수의 체류·처리·방류가 가능하기 때문이다 (Choi et al., 2011).

강우유출수 및 비점오염 저감을 위한 시설의 규모 및 용량을 결정하고 설계할 때에는 이러한 IETD를 고려하여 설계강수량이 정해져야 하지만 지금까지는 일강수량을 기반으로 강우사상을 결정하는 방법들이 사용되어지고 있다. 일강수량을 기반으로 강우분석시 하루에 2개의 강우사상이 발생하면 강우간의 무강우시간은 고려되지 않는다. 예를 들어 하루에 2시부터 8시, 16시부터 23시의 2개의 강우사상이 발생하면 2개의 강우사상은 8시간의 무강우 기간이 있지만 이를 일강수량 자료로 강우분석을 하면 1개의 강우사상으로 적용된다. 또는 21시부터 익일 4시까지 2일에 걸쳐 강우사상이 발생하면 이는 1개의 강우사상임에도 불구하고 2개의 강우사상으로 적용된다. 따라서 강우유출수 및 비점오염 저감을 위한 시설의 규모 및 용량을 결정함에 있어서는 설계 체류시간을 반영하여 IETD를 결정하고 결정된 IETD를 기준으로 강우사상을 분리하여 설계강수량을 산정하는 것이 필요하다.

Shrestha et al. (2014)은 미국 18개 강우관측소 자료를 분석하여 개발 이전의 수문상태로 개발지역의 강우유출수를 관리하기 위해서는 일강우 자료가 아닌 시강우 자료를 이용하여 IETD 24시간을 기준으로 강우를 분리하고 95퍼센타일에 해당하는 강우량을 설계강수량으로 해야한다는 연구결과를 제시하였다. 미국의 강우패턴 및 강우량이 우리나라와 차이가 존재하므로 우리나라 강우관측소에서 관측된 강우 자료를 수집하여 분석하는 연구가 필요하다. 국내의 경우, Choi et al. (2011)은 비점오염원 저감을 위한 저류지의 최적용량을 설정을 위해 청주지점의 강우자료를 수집하였으며, 변동계수분석을 통해 IETD는 10시간이 적절한 것으로 제안하였다. Choi

et al. (2015)은 체류시간을 12시간으로 정하고 이에 따라 IETD를 12시간으로 하여 분리한 강우사상의 누적확률 90 %에 해당하는 강우유출수를 침투도랑의 가능최대용량으로 산정하였다. 이처럼 국내에서도 체류시간 및 통계학적 방법에 의해 IETD를 결정하고 강우사상을 분리하여 강우유출수 관리시설의 시설용량 결정하는 방법들에 대한 연구가 있었으나 전국 규모의 강우관측소를 대상으로 강우자료를 수집하고 IETD에 따른 설계강수량의 변화를 연구한 사례는 없다.

이에 본 연구에서는 강우유출수 관리를 위한 시설 설계시 필요한 설계강수량 분석을 위해 전국 강우관측소에서 관측된 강우자료를 수집하고, IETD 변화에 따른 설계강수량 변화를 분석하여 강우유출수 및 비점오염 관리시설 설계를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 재료 및 방법

본 연구에서는 전국 종합기상관측 지점 중 최근 30년간 (1986~2015) 일강우 및 1 시간 강우관측 자료가 존재하는 63개 지점에 대하여 강우분석을 실시하였다 (Fig. 1). 일강우 및 시간별 강우관측 자료는 기상청 국가기후데이터센터 (<http://sts.kma.go.kr>)에서 수집하여 분석하였다.

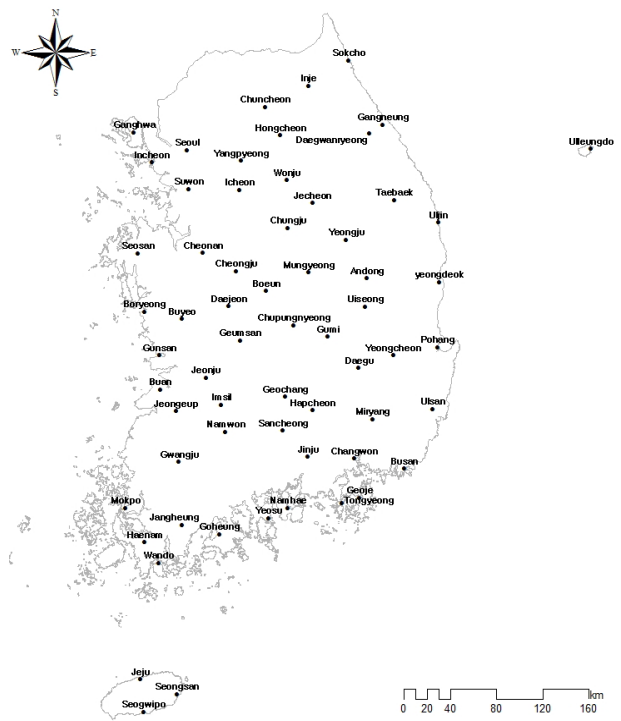


Fig. 1 Location of the rainfall station used in this study

본 연구에서는 식생차단, 침투, 증발산 등에 의해 유출이 발생하지 않는 0.1 inch (2.54 mm) 이하의 강우량은 제외하여 분석하였다(USEPA, 2009). 다양한 체류시간을 고려하기 위하여 시간별 데이터를 사용하여 IETD를 6, 12, 18, 24시간으로 나누어 강우사상을 분리하였다. 시간별 강우자료사이의 무강우시간이 IETD보다 짧으면 무강우시간 전과 후의 두 개의 강우기록들은 하나의 강우사상으로 간주되며, 무강우시간이 IETD보다 길 경우에는 무강우시간 전과 후의 두 개의 강우기록들은 각각의 개별적인 강우사상으로 분리하였다(Adams and Papa, 2000; Choi et al., 2011). 백분위수(percentile)의 계산은 전체분석기간에 대해 각 강우사상 강우량을 크기 순

서대로 재정렬하여 85%, 90%, 95%에 해당하는 강우량 값을 구하였다.

III. 결과 및 고찰

1. IETD 변화에 따른 강우분석 결과

각 IETD (6, 12, 18, 24시간)에 따라 강우사상을 분리하여 85, 90, 95퍼센타일에 해당하는 강우량을 분석한 결과는 Table 1과 같다. 63개 모든 지점에서 일강우량 자료를 이용하여 산정한 85, 90, 95퍼센타일 강우량이 시강우량 자료를 이

Table 1 Percentile daily rainfall and event rainfall (mm) at the selected stations

Station	Code No.	Average annual rainfall (mm)	95th percentile rainfall (mm)					90th percentile rainfall (mm)					85th percentile rainfall (mm)				
			Daily ^a	6 hr IETD ^b	12 hr IETD	18 hr IETD	24 hr IETD	Daily	6 hr IETD	12 hr IETD	18 hr IETD	24 hr IETD	Daily	6 hr IETD	12 hr IETD	18 hr IETD	24 hr IETD
Sokcho	90	1388.2	69.2	99.9	112.8	116.4	121.5	48.0	67.4	73.9	80.3	83.4	37.3	49.8	56.4	59.0	60.9
Daegwanryeong	100	1784.7	73.5	104.0	120.5	125.5	137.6	50.8	68.6	80.1	83.6	88.7	38.5	52.7	61.1	64.9	66.9
Chuncheon	101	1356.7	75.5	95.5	104.3	110.1	117.1	51.0	61.2	67.7	67.9	70.4	38.2	44.2	49.2	51.0	54.1
Gangneung	105	1457.4	67.2	104.3	114.8	123.5	126.7	47.3	65.1	71.6	76.3	81.1	36.4	48.8	52.0	55.7	60.5
Seoul	108	1468.0	82.9	97.5	115.0	117.5	128.3	55.5	66.2	74.4	78.2	81.0	42.5	49.0	52.0	55.2	56.6
Incheon	112	1249.7	79.4	99.3	107.5	113.4	126.1	51.0	59.6	62.6	69.7	72.7	38.9	46.7	48.7	53.5	54.0
Wonju	114	1362.2	69.8	91.9	102.9	114.2	120.3	48.4	55.9	64.1	68.9	74.4	37.0	42.1	45.9	48.5	50.8
Ulleungdo	115	1418.4	55.5	75.8	78.9	85.2	90.8	37.0	51.1	55.5	60.3	64.8	28.0	39.5	43.0	45.9	48.6
Suwon	119	1337.0	74.6	95.4	110.4	112.2	127.2	50.5	59.6	64.7	68.8	76.5	38.5	45.8	50.5	51.5	53.3
Chungju	127	1249.6	66.9	87.5	97.1	105.1	117.1	45.5	57.0	65.8	68.5	70.9	36.5	41.5	46.9	49.0	49.3
Seosan	129	1284.2	75.9	89.9	100.0	105.9	110.5	51.4	61.5	68.2	71.2	76.0	37.7	43.5	48.0	50.5	53.5
Ulsan	130	1153.7	60.8	85.3	86.5	94.2	100.0	42.0	55.3	58.4	60.6	64.8	34.0	44.4	46.4	48.0	52.0
Cheongju	131	1252.6	63.0	82.0	95.8	101.1	107.2	46.4	57.1	62.2	65.8	69.3	37.5	43.5	47.7	49.9	50.0
Daejeon	133	1370.7	71.1	85.2	97.2	109.4	117.9	48.1	57.7	66.7	72.2	74.2	37.1	44.6	47.8	51.1	53.4
Chupungnyeong	135	1186.3	60.6	75.5	85.5	89.5	95.6	42.0	53.7	58.8	61.9	64.8	32.9	39.7	43.5	45.5	49.1
Andong	136	1049.7	59.1	74.4	82.1	85.3	91.5	43.1	53.1	58.1	61.3	63.0	32.7	40.5	44.0	46.5	48.2
Pohang	138	1169.2	60.4	78.7	86.3	93.8	100.8	43.8	56.8	61.7	64.0	66.8	33.5	44.5	47.9	49.9	52.5
Gunsan	140	1246.6	64.9	79.4	87.0	96.7	102.7	46.5	55.8	63.0	65.1	68.0	36.0	41.5	48.0	51.2	54.5
Daegu	143	1070.4	59.5	78.6	85.1	90.3	97.1	43.1	54.0	55.5	58.0	63.7	33.9	40.0	42.6	44.2	45.6
Jeonju	146	1298.7	58.5	70.8	80.5	89.8	100.2	43.1	50.0	56.6	63.0	65.8	34.1	40.0	43.5	46.3	49.5
Ulsan	152	1263.4	67.5	89.1	98.2	102.9	105.6	46.5	60.2	64.3	67.7	70.9	36.9	48.5	52.3	54.0	56.8
Changwon	155	1517.2	84.2	116.3	124.1	132.1	138.6	60.0	79.8	83.7	88.6	93.4	46.2	60.0	65.1	69.7	71.7
Gwangju	156	1391.1	67.5	82.7	94.8	101.0	106.9	48.5	58.7	64.8	68.9	73.4	35.8	44.7	48.4	52.6	57.0
Busan	159	1511.1	81.3	104.3	108.2	116.1	125.7	59.0	75.7	81.7	90.8	97.0	45.5	58.9	63.3	68.5	71.2
Tongyeong	162	1443.9	74.3	98.3	106.0	114.9	121.8	55.3	71.5	79.3	84.8	88.1	42.2	55.6	62.8	65.1	68.0

^aPercentile value derived from daily rainfall data

^bPercentile value derived from hourly rainfall data with an interevent time definition

Table 1 Percentile daily rainfall and event rainfall (mm) at the selected stations (continued)

Station	Code No.	Average annual rainfall (mm)	95th percentile rainfall (mm)					90th percentile rainfall (mm)					85th percentile rainfall (mm)				
			Daily ^a	6 hr IETD ^b	12 hr IETD	18 hr IETD	24 hr IETD	Daily	6 hr IETD	12 hr IETD	18 hr IETD	24 hr IETD	Daily	6 hr IETD	12 hr IETD	18 hr IETD	24 hr IETD
Mokpo	165	1155.7	61.6	75.9	83.2	88.2	94.1	44.0	53.5	57.9	61.3	64.7	32.5	41.9	44.5	46.9	50.4
Yeosu	168	1437.5	76.8	95.0	110.2	116.6	127.9	54.4	69.4	74.3	80.0	84.6	43.0	54.9	59.5	62.9	66.9
Wando	170	1533.8	81.0	102.4	111.5	118.8	126.4	55.8	71.4	81.0	82.5	85.5	44.5	56.6	62.9	66.4	69.1
Jeju	184	1509.1	67.3	93.5	103.9	109.1	116.0	43.6	54.3	60.8	67.1	72.4	33.7	42.0	47.1	49.9	52.6
Seongsan	188	1961.5	85.0	110.2	118.1	135.6	147.0	57.8	74.5	82.0	88.0	96.5	44.0	55.2	62.0	67.2	74.0
Seogwipo	189	1968.4	86.8	116.5	127.4	138.5	146.9	61.0	79.4	87.3	96.7	102.9	46.5	59.3	65.5	70.5	75.8
Jinju	192	1515.4	77.5	108.9	118.9	129.4	133.7	58.4	77.7	82.7	86.0	92.4	45.2	60.4	66.9	70.1	72.0
Ganghwa	201	1344.9	82.2	104.6	121.5	126.4	130.0	56.0	70.1	77.0	82.4	83.3	45.0	52.1	57.5	60.5	61.5
Yangpyeong	202	1424.9	80.5	101.5	123.9	131.0	136.6	55.9	64.0	72.8	78.3	82.3	42.9	48.5	52.5	55.5	57.0
Icheon	203	1377.7	75.1	95.6	109.5	116.0	123.3	54.1	64.9	72.7	76.8	79.5	39.8	47.0	53.3	56.9	59.9
Inje	211	1197.5	64.7	82.1	94.9	100.0	102.6	44.8	53.3	59.6	63.0	67.1	35.0	38.5	43.7	46.0	47.5
Hongcheon	212	1375.5	78.4	97.0	110.0	119.4	128.5	52.5	61.9	70.1	76.4	81.1	41.0	45.2	51.0	52.5	54.4
Taebaek	216	1319.4	62.5	83.8	92.6	99.0	105.4	45.5	57.2	63.1	67.8	73.0	34.5	44.5	49.0	51.3	54.4
Jecheon	221	1421.9	74.1	102.0	111.5	117.7	121.5	50.1	63.6	68.5	75.2	82.0	39.0	46.5	52.0	54.5	54.7
Boeun	226	1308.9	64.5	79.7	90.6	97.8	112.2	45.5	55.6	60.9	65.9	72.2	35.8	42.2	46.5	50.0	52.5
Cheonan	232	1246.2	71.1	87.0	94.3	99.0	109.1	48.5	56.5	61.5	65.7	72.0	36.7	43.5	47.0	48.0	49.6
Boryeong	235	1244.9	66.4	81.5	90.4	98.0	106.0	46.0	54.0	62.0	65.5	69.5	36.0	41.7	47.0	47.6	50.5
Buyeo	236	1365.9	71.3	86.7	99.0	107.5	117.6	50.9	60.0	68.0	72.0	77.5	40.0	47.2	53.2	55.3	57.2
Geumsan	238	1287.6	65.8	81.8	91.3	94.6	99.4	46.0	55.0	62.5	63.9	66.5	34.1	40.0	45.3	48.0	50.8
Buan	243	1226.4	65.1	81.4	85.2	90.9	99.0	46.0	56.5	62.0	64.4	67.6	33.5	42.6	45.6	49.5	51.5
Imsil	244	1352.9	64.7	81.5	90.4	98.4	107.5	46.0	57.5	62.0	64.5	70.7	35.0	42.8	47.7	52.0	56.0
Jeongeup	245	1328.3	62.5	78.5	86.6	97.8	102.6	44.7	55.9	61.5	63.5	66.5	35.3	41.0	47.5	50.5	52.7
Namwon	247	1346.4	69.7	82.1	90.0	104.8	118.3	46.7	58.0	64.0	69.6	71.8	36.1	43.5	48.0	51.1	55.0
Jangheung	260	1484.0	78.5	105.4	114.9	126.8	136.5	54.8	69.2	75.0	79.0	85.7	42.0	50.2	57.8	61.4	65.3
Haenam	261	1308.6	71.5	91.4	98.4	105.5	113.8	48.5	59.5	64.5	68.8	72.8	37.1	46.0	50.0	52.0	54.2
Goheung	262	1439.5	78.5	100.2	112.7	118.2	123.5	53.9	67.5	76.4	82.5	83.3	41.9	52.0	60.5	64.9	66.8
Yeongju	272	1323.8	74.5	96.0	108.7	115.8	119.5	50.1	67.0	73.8	78.7	80.5	40.5	48.5	53.0	57.0	59.0
Mungyeong	273	1291.6	71.0	87.6	97.8	106.1	112.7	51.2	64.2	68.9	74.5	76.9	39.9	50.0	53.9	56.5	58.1
Yeongdeok	277	1075.9	62.8	83.7	90.7	91.8	96.3	44.5	54.0	58.0	61.5	65.9	35.0	45.3	48.4	51.0	52.0
Uiseong	278	1015.1	61.0	75.6	84.3	89.3	94.6	42.3	52.2	58.9	61.5	64.6	33.0	40.0	44.0	48.0	48.5
Gumi	279	1086.8	58.4	77.5	85.7	87.7	94.4	44.3	51.5	55.2	58.4	63.0	35.5	41.5	45.4	46.9	49.0
Yeongcheon	281	1069.5	60.0	77.2	88.8	97.6	104.5	43.5	52.5	56.3	58.5	62.0	34.3	42.7	44.9	47.0	47.5
Geochang	284	1311.1	73.5	95.8	110.0	113.0	122.1	52.5	64.5	70.8	74.0	79.5	40.5	48.5	52.0	54.5	57.5
Hapcheon	285	1289.5	74.0	95.9	105.7	120.1	133.6	53.5	61.5	70.5	77.6	83.1	40.4	50.9	54.2	57.0	59.0
Miryang	288	1219.3	66.8	82.0	97.0	101.8	109.0	50.0	61.0	66.1	69.5	72.0	38.0	46.2	51.5	53.9	55.9
Sancheong	289	1554.9	87.6	115.0	132.5	153.7	161.3	56.0	73.7	82.3	89.1	93.8	45.5	55.9	58.8	61.9	65.1
Geoje	294	1830.1	93.5	117.5	128.1	136.9	149.7	65.9	88.0	95.2	100.2	106.0	50.1	66.0	75.6	81.7	87.4
Namhae	295	1878.5	96.0	126.2	140.3	148.6	158.8	70.0	91.5	103.5	107.5	110.9	54.0	70.5	80.5	88.6	92.1

^aPercentile value derived from daily rainfall data

^bPercentile value derived from hourly rainfall data with an interevent time definition

용하여 IETD에 따라 산정한 강우량에 비해 작은 것으로 나타났다. 즉, 일강우량 자료를 이용하여 설계강우량을 산정하고 강우유출수 관리 시설을 설계할 경우에는 시강우량 자료를 이용하여 산정한 경우보다 용량이 작게 설계되는 것이다. 95퍼센타일에 해당하는 강우량을 분석한 경우에는 무강우시간을 6시간으로 하여 계산한 강우량이 일강우량으로 산정한 강우량의 118~155 % 수준이었다. 무강우시간을 24시간으로 계산한 강우량의 경우에는 일강우량으로 산정한 강우량의 146~189 % 수준이었다. 일강우량 자료 기준으로 산정한 85, 90, 95퍼센타일에 해당하는 평균 강우량은 각각 38.5 mm (28.0~54.0 mm), 49.8 mm (37.0~70.0 mm), 71.2 mm (55.5~96.0 mm)였다. 24시간 무강우시간 기준으로 85, 90, 95퍼센타일에 해당하는 평균 강우량은 57.6 mm (45.6~92.1 mm), 76.9 mm (62.0~110.9 mm), 117.1 mm (90.8~161.3 mm)로 나타났다. Table 1에서 보듯이, 무강우시간 기준이 6시간에서 24시간으로 증가할수록 일강우량으로 산정한 강우량과의 차이가 크게 발생하는 것으로 나타났다.

2. 강우유출수 관리를 위한 적정 설계강우량 설정

불투수면 증가로 인해 발생하는 문제를 최소화하기 위하여 우리나라 뿐만 아니라 미국, 독일 등에서도 신규개발지역, 재개발지역, 기존 개발지역 등에서 처리해야 할 강우유출수 관리 목표를 설정하여 불투수면에서 발생하는 강우유출수를 관리하고 도시유역의 왜곡된 물순환을 정상화하려는 노력을 하고 있다.

미국에서는 일정규모 이상의 분류식 도시 우수관거 시스템(Municipal Separate Storm Sewer Systems, MS4s)에서의 우수배출이 국가 오염물질 배출 규제 제도(Nation Pollutant Discharge Elimination System, NPDES) 허가에 포함되어 있으며, 특히 신규개발 및 재개발 부지에 대해 일정량의 강우유출수를 통제하도록 의무화하고 있다(USEPA, 2014). 강우유출수 관리 기준은 일정 강우량, 백분위수 강우 사상, 연평균 강우사상의 유출량, 침투량 등으로 표현되고 있다. 주 또는 지역 마다 강우유출수 기준은 다르며, 강우량을 기준으로 하는 방법으로는 불투수면적률이 일정 수준이상인 지역의 경우 최소 0.5~0.1 inch의 강우를 지표수로 방류하지 않고 100 % 관리하거나, 80퍼센타일 또는 85퍼센타일에 해당하는 강우에서 발생하는 유출수 또는 0.75 inch 강우와 85퍼센타일에 해당하는 강우 중 더 많은 강우량을 관리하도록 규정하는 지역도 있다(USEPA, 2014). 또한 2007년 제정된 미국 에너지 독립 및 안전법(Energy Independence and Security Act)에 따라 연방정부에서 시행하는 5,000 ft² 이상의 개발 또는 재개발 사업지구에서는 강우유출수 관리를 위해 24시간 강우사상의

95퍼센타일 이하는 모두 처리할 수 있도록 설계하거나 개발 이전 유출량을 조사하여 결정하고 개발 후의 유출량이 개발 전 유출량과 같거나 초과하지 않도록 규정하고 있다(USEPA, 2009).

우리나라의 경우 저류시설, 인공습지, 침투시설, 식생체류지, 식물재배화분, 나무여과상자 등과 같은 비점오염저감시설의 경우에는 수질처리용량을 결정하기 위해 설계강우량을 배수구역의 누적유출고로 환산하여 최소 5 mm 이상의 강우량을 처리할 수 있도록 하고 있다(MOE, 2016). 누적유출고를 강우량의 개념으로 이해하기 위해서는 유출계수를 고려하여야 하는데 설치 지역의 평균 유출계수가 0.6이라고 가정하면 약 8 mm의 강우량을 처리하여야 하는 것이다. 도시지역의 경우에는 유출계수가 높아 다른 지역보다 상대적으로 적은 용량의 시설이 설계될 가능성이 있다. 설계 규모 및 용량이 커질수록 설치비용, 부지확보 비용, 유지관리 비용 등이 커지기 때문에 최소 기준인 5 mm를 적용할 가능성이 있다. 이러한 기준이 비점오염물질 제거에는 효과적인 방법일 수 있지만 최근 문제가 되고 있는 불투수면 증가에 따른 강우유출수 및 오염물질 증가로 인해 발생하는 유역 건강성의 악화 문제를 해결하기 위해서는 개발 사업 이전과 개발 사업 이후의 지표면 유출량의 차이를 최소화하는 노력이 필요하며 이를 위해서는 도시지역의 경우 현재의 기준보다 강화된 강우유출수 기준이 필요하다. 최근 행복도시 6·4생활권에서 개발로 인한 유출량 증가를 최소화하기 위해 빗물관리 목표량을 최근 10년 일강우량 자료의 약 80퍼센타일에 해당하는 25 mm로 설정하고 이를 처리하기 위한 저영향개발기법 적용계획을 수립하였다(Choi et al., 2017).

설계강우량은 강우유출수 또는 비점오염을 관리하기 위한 시설의 규모 및 용량을 결정할 때 많은 영향을 미치기 때문에 설계강우량의 산정 방법은 매우 중요하다. 설계강우량을 산정하는 방법에 있어 대부분 일강우량 자료를 이용하여 산정하고 있지만 이럴 경우에는 강우간의 분리기준인 IETD는 고려되지 않는다. 본 연구의 결과에서처럼 일강우량 자료를 이용한 결과와 시강우량 자료 및 IETD를 이용한 결과가 차이를 가지고 있기 때문에 설계강우량을 결정할 때 이러한 차이가 존재함을 인식하여야 하며 이런 차이를 고려할 필요가 있다.

개발지역 및 재개발지역의 강우유출수를 개발 이전의 수준으로 관리하기 위한 목적으로 침투시설 기반의 LID 기술요소의 적용이 권장된다. 침투시설의 경우 하부토양의 침투속도는 시간당 13 mm 이상이어야 하며, 지표수가 강우 후 24시간 이내에 배수가 완료되어 물고임 현상이 발생되지 않도록 권장하고 있다(MOE, 2016). 따라서 개발로 인한 강우유출수 증가를 최소화하기 위한 목적으로 관리시설을 설계할 경

우에는 IETD의 기준을 24시간으로 하여 설계강우량을 설정하는 것이 바람직하다. 침투시설의 경우 침투속도가 13 mm/hr 이상으로 설계되어야 하므로 24시간 동안에 312 mm를 침투시킬 수 있다. 침투시설을 설치하기 위해서는 요구되는 면적이 존재하고, 이는 설계강우량 및 토양조건 등에 따라 달라지며, 최종적으로 이러한 조건들에 의해 처리할 수 있는 대상면적도 달라질 수 있다. 예를 들어 설계강우량이 60 mm이고 이 강우량이 처리대상지역에서 모두 유출되어 침투시설로 유입

되며 침투속도가 13 mm/hr인 침투시설 설치를 위해 필요한 면적이 10 m²이라고 가정하면 침투시설과 처리대상지역에 내리는 강우를 모두 처리해야 하므로 총 면적 50 m²에 24시간 동안 내리는 60 mm의 강우를 모두 처리할 수 있는 것이다. 즉 처리대상면적 40 m²에서 24시간 동안 내린 강우량이 60 mm이므로 침투시설 10 m²에서 처리해야 할 강우량으로 환산하면 240 mm이며, 시설 내에 내리는 강우를 포함하여 침투시설에서 처리되는 총 강우량은 침투시킬 수 있는 312 mm보다 적은 300 mm이므로 대상지역에서 발생하는 강우유출수를 24시간 내에 모두 침투시킬 수 있는 것이다. 침투속도가 13 mm/hr보다 큰 토양으로 가정한다면 처리대상면적은 커지게 된다.

미국의 경우 연방정부 개발과 재개발 지역에서의 강우유출수 관리를 위해 일강우량 자료를 기반으로 계산된 24시간 강우사상의 95퍼센타일 이하는 모두 처리할 수 있도록 규정하고 있듯이 (USEPA, 2009), 우리나라에서도 개발 및 재개발 지역에서의 강우유출수 관리 및 도시구역의 물순환 건강성 회복을 위해 이와 유사한 강도 높은 규제를 도입하는 것을 고려할 필요가 있다. Table 1 및 Fig. 2에서와 같이 IETD 기준을 24시간으로 하여 산정한 85퍼센타일 강우량이 일강우량 자료 기준으로 산정한 95퍼센타일 강우량을 초과하지 않으며 유사한 값을 보이고 있다. 따라서 개발로 인한 물순환 변화를 최소화하고 불투수면에서 발생하는 강우유출수를 관리하기 위해서 일정규모 이상의 개발사업에 대해 IETD를 24시간으로 하여 산정된 85퍼센타일 강우량(평균 57.6 mm)을 모두 처리하도록 규정하는 것을 고려할 수 있다. 그러나 본 연구에서 제안한 기준은 통계적 자료를 기반으로 하여 제시된 가이드

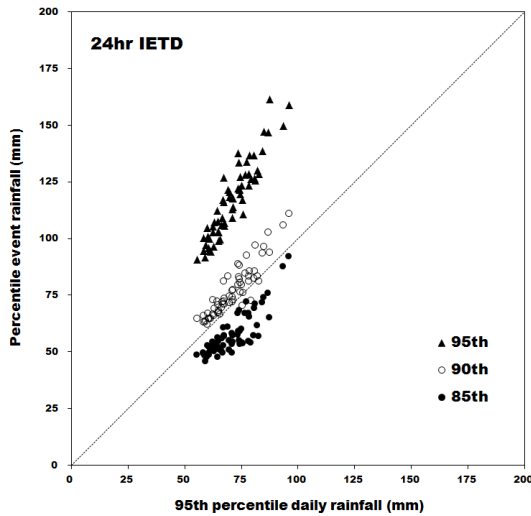
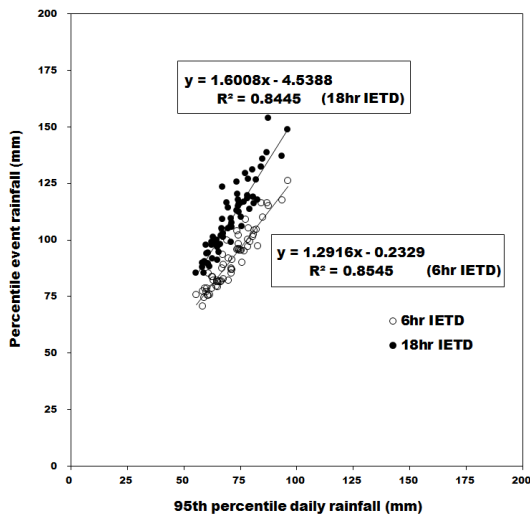
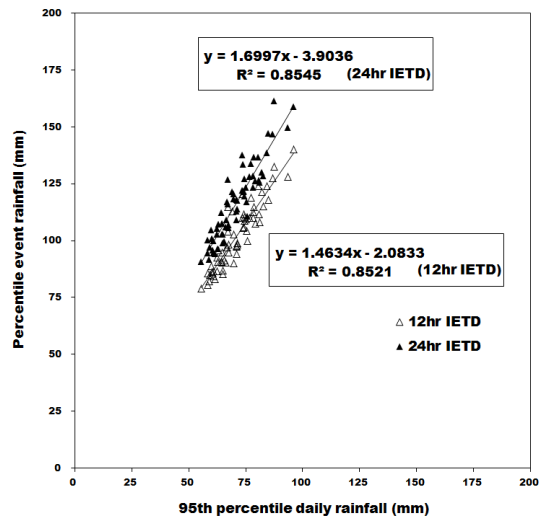


Fig. 2 Comparison of the 95th percentile daily rainfall with 85th, 90th, and 95th percentile event rainfall defined by the interevent time definition (IETD) of 24 hr



(a) 6 and 18 hr IETD



(b) 12 and 24 hr IETD

Fig. 3 Regression equation between the 95th percentile daily rainfall and 95th percentile event rainfall with the interevent time definition (IETD) of 6, 12, 18, and 24 hr

라인으로 향후 도시지역에서의 강우유출수 관리를 위한 행정적인 목표나 정책의 변화, 적용 가능 기술 변화, 설치 및 관리 비용, 지역 환경요건 등에 따라 수정될 수 있으며 현장 모니터링 자료 및 모델링 기법을 이용한 타당성 분석을 통해 보완될 필요가 있다.

3. 일강수량 분석과 시강수량 분석의 상관성 분석

63개 모든 지점의 자료를 이용하여 일강우량 자료를 기반으로

로 산정한 강우량과 시강우량 자료 및 IETD를 고려하여 산정한 강우량과의 상관관계를 분석하였다. Fig. 3~5에서와 같이 85, 90, 95퍼센타일에 해당하는 일강우량 분석결과와 IETD (6, 12, 18, 24시간)별 강우량 분석결과가 상관성이 있는 것으로 나타났다. 회귀방정식의 결정계수 (R^2)는 0.7919~0.8942의 범위를 보였다. 따라서 강우유출수 및 비점오염 관리를 위한 시설을 설계할 때에 시간강우량 자료를 활용하여 강우분석을 실시하여야 하지만 시간강우량 자료가 없는 경우 또는

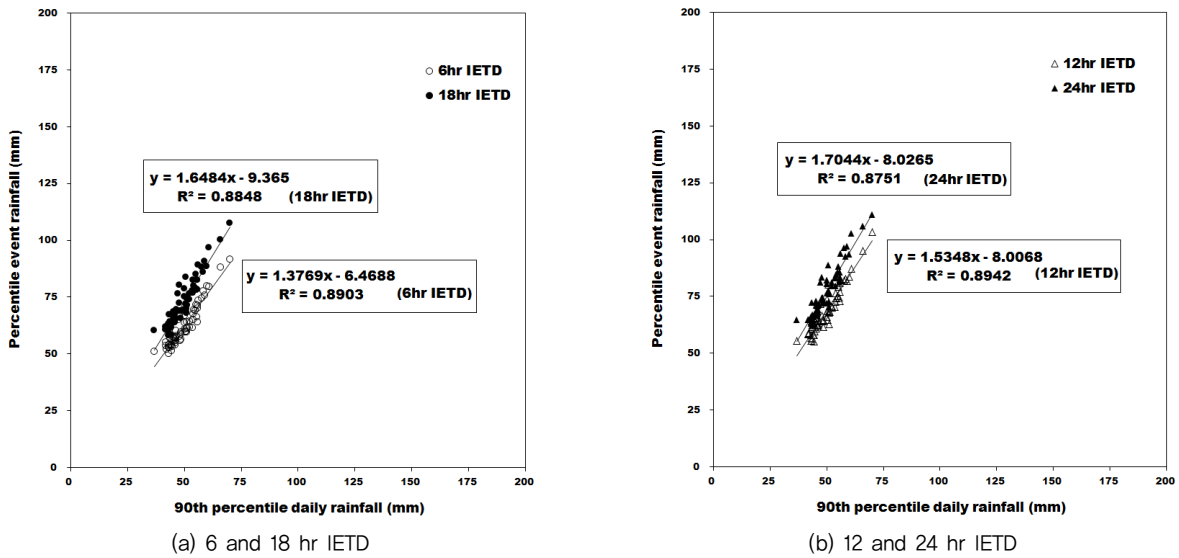


Fig. 4 Regression equation between the 90th percentile daily rainfall and 90th percentile event rainfall with the interevent time definition (IETD) of 6, 12, 18, and 24 hr

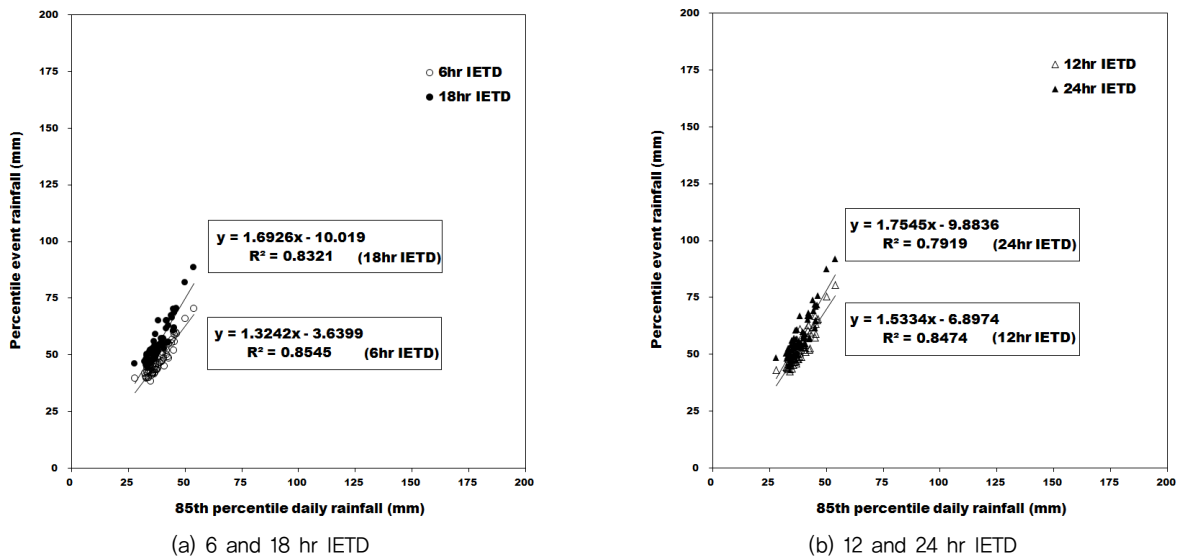


Fig. 5 Regression equation between the 85th percentile daily rainfall and 85th percentile event rainfall with the interevent time definition (IETD) of 6, 12, 18, and 24 hr

일강우량 자료를 활용할 경우에는 본 연구에서 제시된 회귀 방정식을 이용하여 IETD별 강우량을 산정할 수 있을 것이다.

IV. 요약 및 결론

강우유출수 저감 및 비점오염원 오염물질의 처리를 위해 설치하는 시설의 설계시 설계강우량은 시설의 규모 및 용량을 결정함에 있어 매우 중요한 요소이다. 본 연구에서는 전국 강우관측소에서 관측된 강우자료를 수집하여 IETD 변화에 따른 설계강우량을 분석하였다. 63개 지점에서 관측된 일강우량 및 시간강우량 자료를 이용하여 분석한 결과, 시간강우량 자료를 이용하여 IETD에 따라 산정한 85, 90, 95퍼센타일 강우량이 일강우량 자료를 기반으로 하여 계산된 강우량에 비해 큰 것으로 나타났다. 일강우량으로 산정한 강우량과의 차이는 IETD가 증가할수록 커지는 것으로 나타났다.

강우유출수 관리를 위한 시설의 규모 및 용량을 설정할 때 일강우량을 기반으로 설계강우량을 설정하는 방법은 자료수집 및 계산 과정이 상대적으로 간단하기 때문에 일반적으로 이용되지만 본 연구의 결과에서와 같이 일강우량으로 계산된 설계강우량은 IETD를 고려한 설계강우량과 차이를 보임으로 사용에 유의해야 하며, IETD는 강우유출수 관리시설의 체류시간, 침투, 처리시간, 방류시간 등의 설계인자와 밀접한 관련이 있기 때문에 IETD를 고려하여 설계강우량을 계산하고 결정하는 것이 필요하다.

설계강우량 분석 결과, 기존 강우유출수 관리를 위한 설계 강우량 결정 방법 및 기준, 시설 설계인자 등을 기반으로 하여 본 연구에서는 개발 및 재개발 지역에서 강우유출수 증가로 인한 영향을 최소화하기 위하여 IETD를 24시간으로 하여 산정된 85퍼센타일 강우량을 모두 처리하도록 강우유출수 관리시설을 설계하고 설치하도록 규정하는 것을 제안하였다. 본 연구에서 제시한 기준은 통계적 자료를 분석하여 제안된 것으로 향후 행정적인 목표, 적용가능 기술, 비용, 지역 요건, 현장 모니터링 자료 및 모델링 기법을 이용한 타당성 분석 등을 통해 수정 및 보완될 필요가 있다.

사 사

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 환경정책기반공공기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다 (2016000200001).

REFERENCE

1. Adams, B. J. and F. Papa, 2000. Urban Stormwater Management Planning with Analytical Probabilistic Models, Wiley, New York, USA.
2. Choi, B., D. Jo, J. Lee, and S. Kim, 2015. Design of water quality capture volume for infiltration trench. *Journal of Korean Society Hazard Mitigation* 15(4): 317-323 (in Korean).
3. Choi, D., J. K. Kim, J. K. Lee, and S. Kim, 2011. Optimal volume estimation for non-point source control retention considering spatio-temporal variation of land surface. *Journal of Korean Society on Water Quality* 27(1): 9-18 (in Korean).
4. Choi, J. S., M. S. Kang, E. J. Yoon, J. M. Lee, and S. H. Im, 2017. A Study on Introduction Plan of Low Impact Development Techniques in Multifunctional Administrative City(MAC)(I). Land and Housing Institute, Daejeon, Korea (in Korean).
5. Kim, E., B. Park, Y. Kim, D. Rhew, and K. Jung, 2015. A study on development of management targets and evaluation of target achievement for non-point source pollution management in Saemanguem watershed. *Journal of Korean Society Environmental Engineers* 37(8): 480-491 (in Korean).
6. Kwon, H., K., Jung, S. Kim, S. Shin, J. Ahn, and G. Kim, 2016. Analysis of nonpoint source reduction at Andong area considering changes in CN. *Journal of Wetlands Research* 18(4): 342-349 (in Korean).
7. Ministry of Environment (MOE), 2016. The Manual for Installation, Management, and Operation of Nonpoint Source Control Facility, Ministry of Environment, Korea (in Korean).
8. National Institute of Environmental Research (NIER), 2014. A Research on Control Targets and Strategies for Impervious Surface Management, NIER-SP2014-321, Korea (in Korean)
9. Relevant Government Ministries (RGM), 2012. The Second Comprehensive Countermeasures of Management for Nonpoint Pollutants. Relevant Government Ministries, Korea (in Korean).
10. Shrestha S., X. Fang, and W. C. Zech, 2014. What should be the 95th percentile rainfall event depths? *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 140(1): 06013002.
11. United State Environment Protection Agency (USEPA), 2009. Technical Guidance on Implementing the Stormwater Runoff Requirements for Federal Projects under Section 438 of the Energy Independence and Security Act. EPA 841-B-09-001, Washington, DC, USA.
12. United States Environmental Protection Agency (USEPA), 2014. Municipal Separate Storm Sewer System Permits: Post-construction Performance Standards and Water Quality-based Requirements. A Compendium of Permitting Approaches. EPA 833-R-14-003, Washington, DC, USA.