

수질오염총량관리 합류식지역의 우기시 관거이송 변화유형

박준대 · 오승영[†] · 김지태^{*}

국립환경과학원 물환경연구부 수질총량연구과

^{*}한국환경정책·평가연구원

Patterns on Sewer Transfer Flow for Rain Weather Period in the Area with Combined Sewer System for the Management of TMDLs

Jun Dae Park · Seung Young Oh[†] · Ji-Tae Kim^{*}

Water Pollution Cap System Research Division, Water Environmental Research Department, National Institute of Environmental Research
^{*}Korea Environment Institute

(Received 3 June 2010, Revised 18 October 2010, Accepted 20 October 2010)

Abstract

Discharged pollution load is varied as rainfall changes in the area with combined sewer system. Changes in discharged pollution load are directly related with those of sewer transfer flow. Therefore, it is important to identify the pattern of sewer transfer flow for the analysis of changes in discharged pollution load. This study reviewed the type of distribution of sewer transfer flow for 17 sewage treatment plants and developed simple formular to estimate sewer transfer flow as rainfall changes. 11 facilities showed to have some relation with rainfall in the change of sewer transfer flow but 6 facilities to have no relation. Relationships between rainfall amount and sewer transfer flow showed that 6 facilities out of 11 had relatively strong relationships above $R^2=0.5$, which were considered to be affected directly by rainfall changes. The formular which explain the relationship between rainfall and sewer transfer flow can be applied in the analysis of rainfall effects on discharged pollution load, therefore, the more appropriate evaluation will be done.

keywords : Combined sewer system, Discharged pollution load, Pattern of sewer transfer flow, Rainfall-Sewer transfer flow relationship, Sewer transfer flow

1. 서론

수질오염총량관리 배출부하량은 오염발생원으로부터 직접 배출되는 개별배출부하량과 공공처리시설의 관거로 유입된 후 관거이송과정에서 배출되는 관거배출부하량 및 처리시설에서 처리된 후 배출되는 방류부하량으로 구성된다(국립환경과학원, 2004). 강우시 합류식 하수처리지역에서 배출되는 관거배출부하량은 관거유입량과 관거이송량의 상호관계에 의해서 결정된다. 관거유입량은 유역의 오염원과 강우유출수의 양에 의하여 그 크기가 정해지며, 관거이송량은 관거 우수토구의 배출구조를 비롯하여 하수처리시설의 한계용량 및 유량 운영조건 등에 의하여 크게 지배를 받는다(송창수, 2008; 윤조희, 2008; 하성룡, 2008).

합류식지역에서는 강우조건이 변화하면 오염원의 변화가 없는 상태에서도 관거배출부하량이 달라지며, 관거이송유량의 변화 정도에 따라 그 배출 정도는 달라진다(박준대와 오승영, 2010). 강우시에는 관거로 유입된 강우유출수가 관거이송과정에서 월류되어 배출부하량을 증가시키고 있으나,

그 양을 정확히 측정하거나 추산하는 것은 매우 어려운 일이다. 일반적으로 합류식지역에서 관거로 유입되어 하수처리시설까지 도달되는 관거이송유량은 하수처리 인구 및 하수처리 구역의 지역적 특성과 기상현상의 발생에 따라 달라진다(El-Din and Smith, 2002). 관거이송유량 변화유형은 관거배출부하량의 변화요인을 파악하고 그 변화 정도를 평가하는데 있어서 매우 중요한 요소가 된다. 합류식지역에서 강우시 강우량이 증가하면 관거유입유량이 증가하게 되고 이에 따라 관거이송유량도 함께 증가하는 것이 일반적이다. 그러나 실제 하수처리시설의 운영에 있어서는 여러 가지의 상황적 제한 및 시설별 특성에 따라 관거이송유량이 다르게 나타날 수 있다. 따라서 강우조건과 관거이송유량 변화 사이에 일정한 관계가 존재하는 경우에는 이를 정량적으로 추정할 수 있는 방법이 필요하다.

본 연구에서는 우기시 합류식지역의 관거이송유량 분포 형태 및 변화유형을 분석하여 강우조건에 따른 관거이송유량 변화를 간편하게 추정할 수 있는 관계식을 작성하는데 그 목적이 있다.

[†] To whom correspondence should be addressed.
osyoung@korea.kr

2. 연구방법

2.1. 관거이송 분석방법

수질오염총량관리 합류식지역의 관거배출부하량은 관거이송 물질수지를 분석하여 산정한다. 관거이송분석에 의한 배출부하량 산정기간은 일반적으로 월단위로 하며, 건기시(dry days)와 우기시(rain days)에 대하여 산정한다. 건기시와 우기시의 기준은 수계오염총량관리 기술지침(국립환경과학원, 2004)에 따라 1일 10 mm 미만은 건기시, 1일 10 mm 이상은 우기시라 정의한다. 관거이송 과정의 물질 이동경로를 보면 Fig. 1에 나타난 바와 같이 유역으로부터 발생된 오염부하가 관거로 유입되어 관거누수(exfiltration)와 관거월류현상(overflow)을 거치면서 하수처리시설(Sewage Treatment Plant, STP)로 이송된다.

합류식 하수처리지역에서는 건기시와 우기시의 관거유입 유량이 확연하게 달라진다. 건기시에는 생활계, 산업계 및 축산계 등의 점오염원으로부터 관거유입이 일어나며, 우기시에는 점오염원에 더하여 강우유출수가 포함되게 된다. 강우유출수는 합류식 관거의 배수시설 또는 맨홀을 통하여 관거로 유입되며, 유입되는 양은 강우강도 및 강우지속시간 등에 따라 결정된다. 수계오염총량관리 기술지침에서는 1일 10 mm 이상의 강우인 유효강우시에 관거유입이 이루어진다고 보며, 다음 식 (1)과 같이 합류식으로 토지계관거유입량을 산정한다.

$$\text{토지계관거유입유량} = \frac{\sum(\text{유입계수} \times \text{유효강우고} \times \text{차집면적})}{\text{유효강우일수}} \quad (1)$$

여기서, 유입계수는 유효강우고에 대한 관거유입 비율로 산정한다. 차집면적은 강우유출수가 환경기초시설로 연결된 관거로 유입되는 지역 즉 강우유출수 배수구역을 의미하며, 전, 담, 임야, 기타를 제외한 대지면적으로 정의하고 있다. 산정기간이 월단위일 경우에 유효강우고 및 유효강우일수는 월 유효강우량 및 월간 유효강우일수를 나타낸다.

관거배출량은 다음 식 (2)와 같이 관거유입에서부터 하수처리시설까지 도달되는 관거이송 물질수지로부터 구한다. 건기시에는 관거배출이 누수에 의하여 발생하나, 우기시의 관거배출은 관거누수와 관거월류를 통하여 일어난다.

$$\text{관거배출량} = \text{관거유입량} + (\text{불명수유입량} \pm \text{관거저류변화량}) - \text{관거이송량} \quad (2)$$

관거로 이송되어 하수처리시설에 도달되는 유량은 하수처리시설로 직접 이송되는 유량과 함께 하수처리시설의 총 유입유량이 되며, 하수처리시설의 처리용량을 초과하는 양은 미처리배제된다. 우기시의 미처리배제량은 건기시에 비해 증가하는 것이 일반적이다.

2.2. 합류식지역의 처리구역 및 처리시설 현황조사

조사대상지역은 대전광역시, 충청남도, 전라북도에 위치한 합류식지역을 대상으로 하였다. 금강, 만경강 및 동진강 합류식지역에 소재한 17개 하수처리시설은 금강, 만경강 및 동진강 수계 상류의 군 지역을 비롯하여 수계 중하류의 광역시 및 시 지역에 비교적 고르게 분포되어 있다.

합류식지역에 대한 하수처리 인구, 토지이용 현황은 제2단계 수질오염총량관리 기본계획 수립 시 조사된 오염원 자료를 이용하였다(대전광역시, 2009; 전라북도, 2009; 충청남도, 2009). 강우량별 출현빈도와 선행 무강우일수 및 연속강우일 등 강우특성 조사는 대상지역에 위치하고 있는 11개 기상관측소 자료를 이용하였다(기상청, 2007). 오폐수 발생유량, 관거유입유량을 비롯하여, 관거이송유량의 일반화 및 월별 건기시와 우기시에 대한 관거이송유량을 분석하기 위한 자료는 17개 합류식 하수처리시설을 대상으로 하였다.

2.3. 관거이송유량 변화분석 및 관계식 작성

합류식 하수관거로 유입되는 관거유입유량 즉, 강우유출수량에 영향을 미치는 요인들로서는 강우강도, 강우지속시간, 강우량의 공간적 분포, 토양식생 특성, 계절, 배수구역의 크기, 형상, 경사도 등이 있다(윤용남, 2007). 수계오염총량관리 기술지침에서는 강우량과 관거유입유량이 선형적인 비례관계에 있다는 전제하에 복잡한 계산과정을 필요로 하는 강우유출량 대신에 강우량과 간단한 유입계수를 사용하여 관거로 유입되는 유량을 산정하고 있으며, 관거이송유량과의 관계에 의해서 관거배출부하량을 산정하도록 하고 있다.

조사대상지역의 17개 하수처리시설에 대한 우기시 관거이송유량 분포도를 작성하여 시설별 분포형태를 확인하고, 강우량 변화에 따라 관거이송유량 변화가 일정한 유형을 나타내는 경우에 강우량을 인자로 하여 관거이송유량을 추정할 수 있도록 「강우량-관거이송유량」 관계식을 작성하였다. 합류식지역에서 강우량과 관거이송유량이 관계가 있을

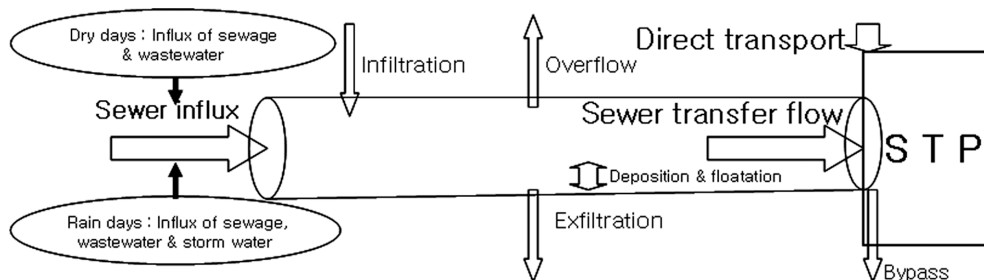


Fig. 1. Mass transfer path in combined sewer system.

경우에는 강수량 증가에 따라 관거유입유량이 증가하게 되며, 관거의 한계차집용량 또는 하수처리시설의 최대수용량까지 관거이송유량이 증가하게 된다. 이와 같은 관계를 설명할 수 있도록 먼저 식 (3)과 같은 함수식을 선정하였다.

$$Y = Y_0 + a(1 - e^{-bx}) \quad (3)$$

여기서 Y는 강수량 x일 때의 관거이송유량이며, Y₀는 초기 관거이송유량 즉 건기시의 관거이송유량 값이다.

강우일별 관거이송유량 분포를 보면 강우발생일의 강수량 크기와 관거이송유량의 크기가 반드시 비례적으로 나타나는 것은 아니다. 특히 연속 강우일이 지속되는 경우에 더욱 그러하다. 따라서 강우 연속성을 고려하여 연속되는 강우일의 강우사상은 단일강우사상으로 간주하여 분석하였다.

강우 발생시 토양침투로 인하여 강우유출량은 감소하게 되며, 선행 무강우기간이 길 경우 강우유출에 미치는 영향은 매우 크다(US EPA, 1975). 김지호 등(2004)은 선행강우 보정계수를 적용하여 합류식의 유출계수를 산정한 바 있으며, 강미아 등(2009)은 강우시 유출량에 미치는 영향은 선행 무강우일수가 지배적 인자라고 보고한 바 있다. 상기 식 (3)의 인자인 강수량과 관거이송유량 사이의 상관성을 높일 수 있는 방법으로 제3의 매개변수가 포함되는 선행 무강우조건 보정식을 추가하였다. 선행 무강우조건을 고려할 수 있는 매개변수는 선행 무강우기간과 선행강우량이 있다. 이 변수들은 토양의 초기함수정도(initial soil moisture condition)를 고려하기 위한 선행강수지수(Antecedent Precipitation Index, API) 또는 토양의 함수미흡율(soil moisture deficit)을 대신하여 간편하게 사용할 수 있는 인자로 여겨진다. 그러나 선행 무강우기간까지의 선행강우량을 고려하기에는 계산과정이 너무 복잡해지고 또한 단일식으로 표현하기 어려운 한계로 인하여 선행 무강우일수만을 매개변수로 하였다. 이 보정식은 토양의 함수수분이 토양내 저류수량에 비례하여 지수함수적으로 감소한다고 가정한 「일 선행강수지수 산정식(윤용남, 2007)」을 응용한 것으로서, 강수 발생시 유출될 수 있는 강수량은 선행 무강우일수에 따라 지수함수적으로 감소한다고 전제하고 식 (4)와 같은 선행 무강우조건 보정식을 작성하였다.

$$x1 = x \times k^t \quad (4)$$

여기서 x1은 강수 발생시 유출될 수 있는 강수량을 나타낸다. k는 감소상수(recession constant)로서 일 선행강수지수 산정식과 같은 0.92를 사용하였으며 t는 선행 무강우일

수를 나타낸다. 식 (3)의 강수량 x 대신에 식 (4)의 유출될 수 있는 강수량 x1을 대입하여 다음 식 (5)와 같이 강수량-관거이송유량 관계식을 작성하였다.

$$Y = Y_0 + a(1 - e^{-bx1}) \quad (5)$$

이와 같이 작성한 관계식의 타당성을 검증해 보기 위하여 SCS(Soil Conservation Service) 방법(USDA, 1986)에 의한 유효우량을 산정하고 이를 적용한 결과와 비교·검토하였다.

또한, 강수량과 관거이송유량 사이의 유의성 여부를 검증하기 위하여, F검정을 실시하였으며, 유의수준(p)이 0.05보다 작은 경우 유의적인 차가 있는 것으로 판단하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 합류식지역 현황 및 강수특성

3.1.1. 인구·토지이용 현황

하수처리구역의 인구특성 및 면적 등은 우기시의 강우유출수량을 비롯하여 관거유입유량의 크기를 결정하는 중요한 요소이다. 합류식 하수처리구역의 인구 및 면적비율은 Table 1과 같다. 3개 광역시도에 소개한 합류식 하수처리시설의 단위용량당 처리인구는 평균 1.8 명으로 나타났으며, 광역시나 시 지역보다 군 지역에서 단위용량당 처리인구가 많게 나타나고 있다. 단위용량당 강우유출수 배수구역 면적은 평균 279.0 m²/m³·d⁻¹으로서 광역시나 시 지역에 비해 군 지역의 면적이 크게 나타나고 있는데, 이는 광역시나 시지역에 비해 군 지역의 강우유출수 배수구역이 일반적으로 넓게 분포된 관계로 단위용량당 강우유출수 배수구역 면적이 높게 나타난 것으로 판단된다.

3.1.2. 강수특성

대전, 충남, 전북지역에 위치한 기상관측소에서 측정된 2007년도 강수현황은 다음 Table 2와 같다. 2007년도 총 강수량은 1,295.8~2,074.1 mm 범위로 나타나고 있으며, 총 강수 발생일은 119일로 나타났다. 이 중 10 mm 이상의 유효강우량을 나타내는 유효강우일은 43일로서 총강수 발생일의 약 36%를 차지하고 있다. 유효강우량은 총강수량의 약 86%를 차지하고 있으며, 최소 1,025.9 mm에서 최대 1,900.0 mm 까지 지역에 따라 약 1.9배 정도의 차이를 보이고 있다. 유효강우일수도 38일에서 49일까지 약 1.3배 정도의 차이를 나타내고 있다.

Table 1. Characteristics of drainage area for combined sewer system

	No. of STP	Capacity of STP (m ³ ·d ⁻¹)	Population per unit capacity	Drainage area per unit capacity (m ² /m ³ ·d ⁻¹)
Metropolis	1	900,000	1.5	100.0
City	7	20,000 ~ 403,000	1.8	198.1
County	9	2,000 ~ 20,000	2.1	361.8
Average	17	-	1.8	279.0

Table 2. Rainfall status of the year of 2007 at each Weather Station

No.	Weather station	Rainfall (mm)			No. of rain days (day)		
		Total	Effective	Ratio(%)	Total	Effective	Ratio(%)
1	Booyeo	1,651.3	1,387.5	84.0	103	39	37.9
2	Boryeong	1,295.8	1,025.9	79.2	107	38	35.5
3	Guemsan	1,586.1	1,341.0	84.5	118	43	36.4
4	Daejeon	1,750.9	1,560.5	89.1	131	49	37.4
5	Cheonan	1,562.4	1,298.9	83.1	138	44	31.9
6	Cheongju	1,534.5	1,318.0	85.9	130	42	32.3
7	Kunsan	1,655.5	1,442.0	87.1	128	44	34.4
8	Jeonju	1,471.7	1,228.5	83.5	127	39	30.7
9	jeongeup	1,637.2	1,440.5	88.0	105	44	41.9
10	Buan	2,074.1	1,900.0	91.6	103	45	43.7
11	Jangsu	1,563.3	1,328.5	85.0	119	45	37.8
Average		1,616.6	1,388.3	85.5	119	43	36.4

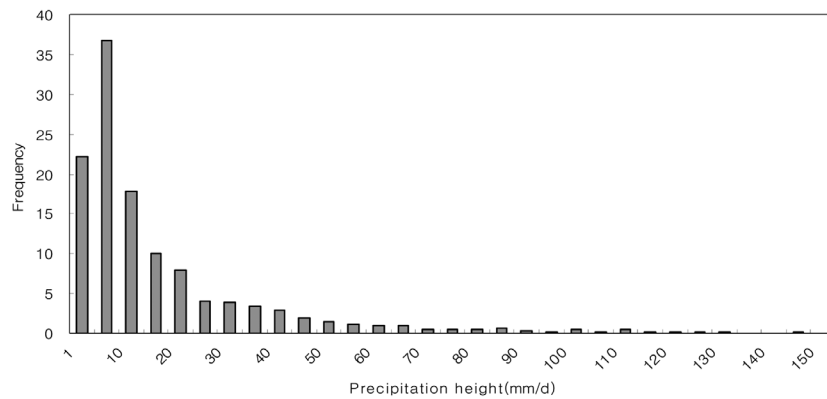


Fig. 2. Frequency by daily precipitation height for the year of 2007.

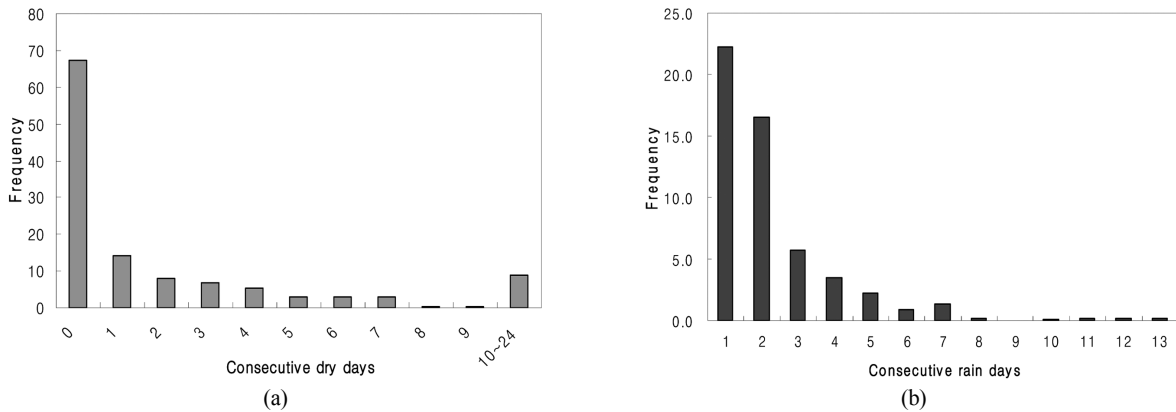


Fig. 3. Frequency by consecutive dry days (a) and rain days (b) for the year of 2007.

합류식 하수관거의 관거이송유량은 강우강도가 커질수록 또는 강우지속시간이 길어질수록 기하급수적으로 증가한다. 또한, 선행 무강우 기간이 길어질수록 초기강우에 의한 오염부하 영향은 커진다(Mullis et al., 1996). 수질오염총량관리 배출부하량 산정을 위한 강수량자료는 일단위 자료를 사용한다. 연간 일단위 강수량 출현빈도(12개 기상관측소의 평균)은 Fig. 2와 같다. 일단위 강수량은 최대 144.5 mm 까지 나타나고 있다. 일단위 강수량 중 약 64%가 10 mm 미만을 나타내고 있으며, 약 15%가 10~20 mm 강수량을 나타내고 있고 약 21%가 20 mm 이상의 강수량을 나타내고 있다.

선행 무강우일이 긴 경우에는 토양 포화시점까지 일정한 양의 침투량이 필요하므로 표면유출이 잘 일어나지 않아 관거배출의 가능성은 낮아진다(Gupta and Saul, 1996). 한편, 연속 강우일에는 토양침투로 인한 손실은 거의 없으며, 선행 강우의 지연유량으로 인하여 관거유입량이 증가하므로 관거배출이 일어날 가능성이 매우 크다.

각 기상관측소에서 관측한 2007년도의 선행 무강우일 빈도와 연속 강우일 빈도는 Fig. 3과 같다. 선행 무강우일이 “0”인 경우가 67회로서 전체의 약 56%를 차지하고 있으며 최대 24일까지 나타나고 있다. 1일부터 5일 이하의 선행

무강우일이 전체의 약 31%를 차지하고 있고 10일 이상의 선행 무강우일도 약 7%를 차지하고 있다. 연속강우일은 최대 13일까지 나타나고 있으며, 2일 이상의 연속강우일이 전체의 약 58% 정도를 차지하고 있다.

3.2. 관거유입 특성 및 관거이송유량 변화

3.2.1. 오폐수 발생유량 및 관거유입 비율

대상지역의 합류식지역에서는 생활계 및 산업폐수가 일부 연계처리되고 있으며, 강우시 토지계로부터 강우유출수가 유입된다. 오염원그룹별 관거유입유량 비율은 Table 3과 같다. 17개 하수처리시설의 관거유입유량은 생활계와 토지계가 대부분을 차지하고 있으며, 특히 토지계로부터의 유입유량은 강우시에만 발생하는 점을 감안할 때 전체에서 차지하는 비율이 매우 높다고 할 수 있다. 우기시 오염원그룹 중 생활계는 48.0~66.2% 범위로 시 지역일수록 높은 비율을 나타내고 있으며, 토지계는 29.1~49.1% 범위로서 군 지역에서 토지계 오염원 비율이 높게 나타나고 있다.

일반적으로 생활하수의 오염도가 토지계 강우유출수의 오염도보다 높으므로 관거배출유량이 동일할 경우 생활계 오염원 비율이 높은 지역에서 관거배출부하량은 커지게 된다.

3.2.2. 관거이송유량 변화

3.2.2.1. 관거이송유량 일 변화

점오염원으로부터 배출되는 일별 배출부하량의 변화폭이 그리 크지 않을 경우에는 강우가 없는 건기시에는 관거이송유량 변화폭이 비교적 작지만 강우사상이 발생하는 우기시에는 관거이송유량 변화폭이 크게 나타난다(Fig. 4). 고창하수종말처리장의 경우, 강우사상이 집중적으로 나타나는 시

기인 6~9월 사이에는 관거이송유량의 변화는 평상시의 약 2배 이상으로 매우 크게 나타나고 있다. 또한 강우일에 연속되는 다음 날에도 관거이송유량의 증가현상이 지속되는 경우가 있는데 이는 선행 강우에 의한 지연유량(Delayed flow)이 관거로 유입되기 때문이며 강우량이 많은 날의 경우 2~3일 정도까지 지속되는 경우도 나타나고 있다.

3.2.2.2. 관거이송유량 월 변화

월별 건우기시에 대한 평균 관거이송유량은 Fig. 5와 같다. 1월과 11월 및 12월은 유효강우일이 없으므로 우기시의 관거이송유량은 없으며, 특히 6~9월의 집중 강우기간 동안에는 우기시의 관거이송유량이 크게 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한, 이 기간동안에는 건기시의 관거이송유량도 크게 증가하고 있는데 이것은 선행 강우의 영향을 받아 유효강우일이 아닌 날 즉 건기시에도 강우유출수가 관거로 유입되어 관거이송유량을 계속해서 증가시키기 때문이다. 건기시에 이와 같이 증가하는 양은 지연유량으로 볼 수 있다.

건기시의 관거이송유량에 대한 우기시의 관거이송유량 비율은 1.05~1.22배 범위(평균 1.12배)로 나타나고 있다(Table 4). 이 값은 앞 절의 Table 3에서 살펴본 우기시 토지계 관거유입유량 비율에 비하면 매우 낮은 값으로서 우기시에 토지계로부터 유입되는 유량의 많은 부분이 관거배출량으로 산정된다는 것을 의미하고 있다.

3.3. 관거이송유량 분포형태 및 강우량과의 관계식

3.3.1. 강우일별 관거이송유량 분포형태

강우량과 관거이송유량 사이의 분포는, 강우량이 증가하면 관거이송유량도 증가하여 유의적인 차가 있는 경우(Fig. 6

Table 3. The ratio of sewer influx by pollution source group (%)

	No. of STP	Dry days			Rainy days			
		Population	Industrial activities	Landfill	Population	Industrial activities	Landfill	Land use
Metropolis	1	93.3	6.6	0.2	66.2	4.7	0.1	29.1
City	7	80.3	19.7	0.0	57.5	14.1	0.0	28.4
County	9	94.2	5.8	0.0	48.0	3.0	0.0	49.1
Average	17	89.3	10.7	0.1	57.2	7.3	0.0	35.5

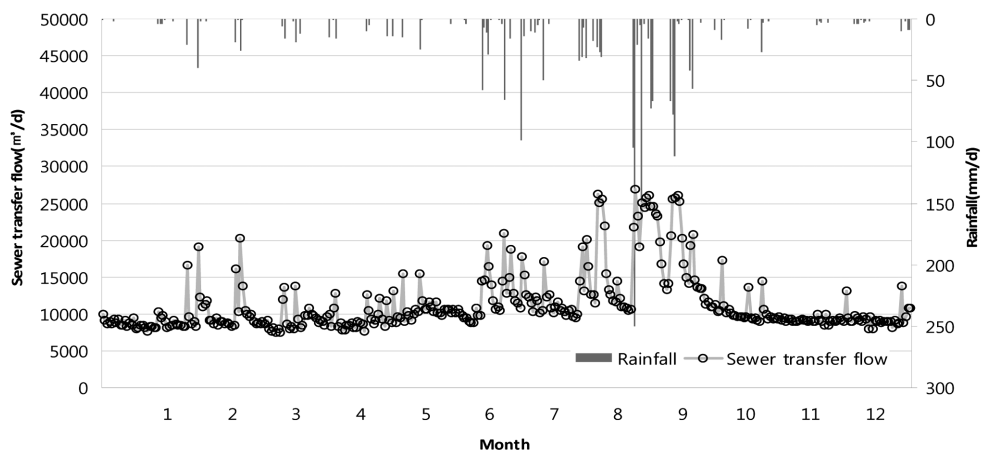


Fig. 4. Daily rainfall distribution and variation of sewer transfer flow at Gochang STP during the year.

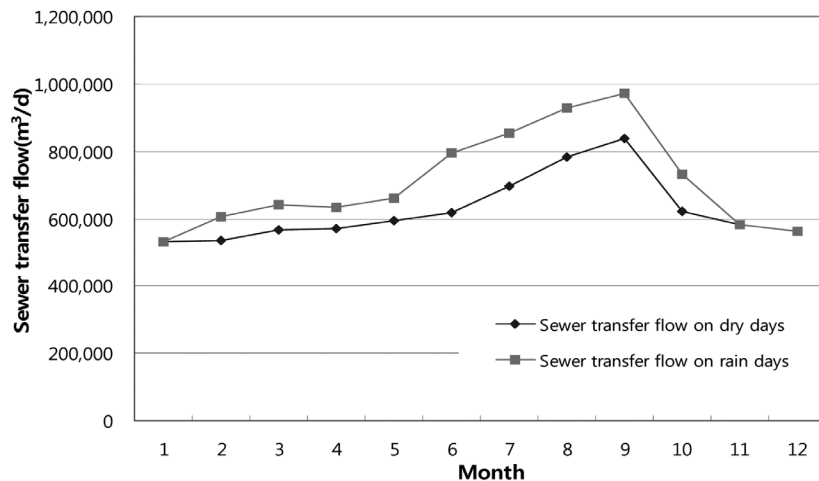


Fig. 5. Monthly variation of sewer transfer flow on dry & rain days.

Table 4. The ratio of monthly sewer transfer flow between dry and rain days (%)

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Avg.
Metropolis	-	1.13	1.13	1.11	1.11	1.29	1.23	1.19	1.16	1.18	-	-	1.17
City	-	1.09	1.09	1.04	1.03	1.10	1.11	1.08	1.08	1.08	-	1.08	1.08
County	-	1.33	1.18	1.16	1.09	1.18	1.12	1.12	1.11	1.20	1.05	1.13	1.15
Average	-	1.22	1.14	1.10	1.07	1.16	1.12	1.11	1.10	1.15	1.05	1.11	1.12

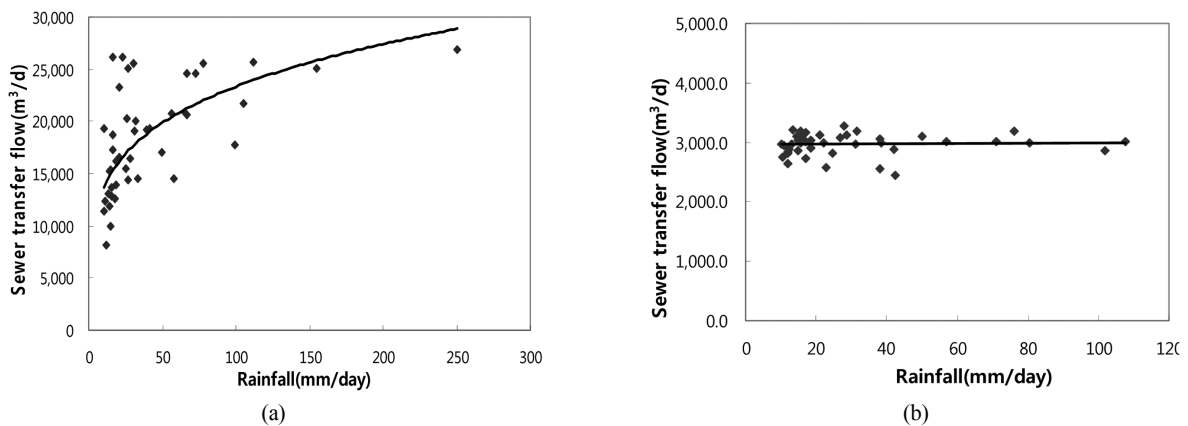


Fig. 6. Distribution pattern between rainfall and sewer transfer flow; Significant difference in the pattern (a), No-significant difference in the pattern (b).

의 (a)와 강우량이 증가하여도 관거이송유량이 증가하지 않아 유의적인 차가 없는 경우(Fig. 6의 (b))로 구분된다. 17개 하수처리시설 중 강우량과 관거이송유량 사이에 유의적인 차가 있다고 판단되는 시설은 11개 시설로 나타났으며, 6개 시설은 강우량 변화와 관거이송유량 변화 사이에 유의적인 차가 없는 것으로 판단하였다. 유의적인 차가 없다고 판단된 6개 시설은 관거 우수토구의 배출구조를 비롯하여 하수처리시설의 한계용량 및 유량 운영조건 등에 의하여 강수량이 증가하더라도 관거이송량의 변화가 미비한 것으로 판단된다.

3.3.2. 「강우량-관거이송유량」 관계식

강우량과 관거이송유량과의 관계식 (3)과 (5)를 적용하여 회귀분석을 하였다(Table 5). 대체적으로 선행 무강우조건

보정식을 적용한 후의 결정계수(R^2)가 다소 증가하는 경향을 나타내고 있다. 강우량과 관거이송유량 사이의 결정계수 (R^2)가 0.5 이상으로 비교적 높게 나타난 하수처리시설은 11개 중 6개 시설로 나타났다. Ramanarayanan 등(1997)은 결정계수가 0.5 이상이면 모형이 자연현상을 잘 모의하는 것으로 제안하였다.

강우조건 변화에 따른 관거배출부하량 변화 분석시, 강우량과 관거이송유량 사이에 유의한 관계가 존재할 경우에는 관거이송유량 변화유형을 고려하여야 한다. Table 5에 제시한 강우량-관거이송유량 관계식은 강우량 변화에 따른 관거이송유량 변화유형을 수치화하여 나타낸 합수식이라고 할 수 있으며, 관거배출부하량 변화 분석시에 강우량과 관거이송유량 사이의 유의한 관계가 존재할 경우 이 관계식을 적용함으로써 관거이송 분석이 보다 적절하게 예측될

Table 5. Regression Equation for the expression of patterns in sewer transfer flow

No.	Name of STP	Equation (3)		Equation (5)	
		$Y = Y_0 + a(1-e^{-bx})$	R^2	$Y = Y_0 + a(1-e^{-bx1})$ $x1 = x \times k^t$	R^2
1	Daejeon	$y = 574,981+730,190(1-e^{-0.0153x})$	0.5218	$y = 567,441+404,631(1-e^{-0.0469x1})$	0.5097
2	Gongju	$y = 29,422+13,226(1-e^{-0.0857x})$	0.3079	$y = 29,235+12,516(1-e^{-0.1379x1})$	0.3365
3	Nonsan	$y = 8,131+3,948(1-e^{-0.3685x})$	0.1126	$y = 7,694+4,393(1-e^{-0.7075x1})$	0.1547
4	BooYeo	$y = 10,098+5,654(1-e^{-0.1517x})$	0.4710	$y = 10,846+5,526(1-e^{-0.1403x1})$	0.5480
5	Jochiwon	$y = 26,781+10,302(1-e^{-0.0459x})$	0.2414	$y = 27,046+22,557(1-e^{-0.0205x1})$	0.2822
6	Cheongyang	$y = 2,428+5,039(1-e^{-0.0718x})$	0.4533	$y = 2,624+5,176(1-e^{-0.0890x1})$	0.5041
7	Jeongeup	$y = 44,594+1,284,069,899(1-e^{-0.0000008x})$	0.5549	$y = 45,280+83,937,733(1-e^{-0.000002x1})$	0.5891
8	Iksan	$y = 102,992+37,455(1-e^{-0.0469x})$	0.5739	$y = 102,686+35,912(1-e^{-0.0735x1})$	0.6197
9	Gochang	$y = 8,989+15,785(1-e^{-0.0273x})$	0.6934	$y = 9,281+14,682(1-e^{-0.0411x1})$	0.6466
10	Jangsu	$y = 1,012+2,156(1-e^{-0.022x})$	0.3995	$y = 987+1,312(1-e^{-0.0471x1})$	0.4629
11	Jangae	$y = 1,146+4,837,539(1-e^{-0.0000002x})$	0.1108	$y = 1,148+2,723,290(1-e^{-0.000006x1})$	0.1346

수 있을 것이다. 다만 식 (3)의 b값이 매우 적은 경우에는 (Table 5의 No.7 또는 11) 거의 선형식에 가까우므로 최대 한계량이 설정되지 않아 관거이송유량이 과다 예측될 수 있다. 이 경우에는 관거의 한계차집용량을 별도로 고려하여 적용하여야 한다.

3.3.3. 기존 방법과의 비교

강우량과 관거이송유량 사이의 관계가 비교적 유의하게 나타난 고창 하수종말처리장(시설용량: 16,000 m³/일, 하수 처리인구: 13,222명, 일평균관거이송유량: 10,594 m³/일)을 선정하여 토양도로부터 수문학적 토양형을 구하고(정강호, 2006), 토지피복도를 중첩하여 AMC-II (Antecedent Moisture Content-II)조건하의 유출곡선지수(Curve Number, CN)을 산정하였다(Table 6).

이와 같이 산정한 CN으로부터 선행 토양함수조건을 고려

하여 각 강우사상별로 AMC-I 조건의 CNI 이나 AMC-III 조건의 CNIII 로 조정 한 후 최대잠재보유수량인 S(Storage Capacity)를 구하여 유효우량을 산정하였으며, 관거이송유량과의 관계를 분석하였다. 본 연구에 의한 강우량과 관거이송유량 사이의 관계(R² = 0.6466)는 SCS 방법에 의한 유효우량과 관거이송유량 사이의 관계(R² = 0.5563) 이상으로 나타났다(Fig. 7 참조), 이와 같은 결과로 보아 상기 강우량-관거이송유량 관계식은 관거이송유량 변화를 정량적으로 예측하고 추정하는데 활용될 수 있을 것이라고 판단된다.

4. 결론

합류식지역의 수질오염총량관리 관거배출부하량은 관거이송분석을 통하여 산정하며, 강우조건이 변화하면 관거배출부하량이 다르게 산정된다. 관거배출부하량 변화는 관거

Table 6. Estimation of CN for the basin of Gochang (AMC-II condition)

Land use	Soil type								Total area (km ²)	Weighted mean of CN
	A		B		C		D			
	Area (km ²)	CN	Area (km ²)	CN	Area (km ²)	CN	Area (km ²)	CN		
Public facilities	46.627	89	42.949	92	30.469	94	178.173	95	298.2	93.5
Commercial	97.654	89	8.848	92	-	-	207.430	95	313.9	93.0
Residential	352.753	77	88.917	85	61.939	90	549.657	92	1,053.3	86.3
Amusement facilities	3.864	49	0.149	69	-	-	4.780	84	8.8	68.4
Streets & roads	66.494	98	11.447	98	28.308	98	263.324	98	369.6	98.0
Open land	9.600	74	109.997	83	3.997	88	294.713	90	418.3	87.8
Paddy	213.438	65	59.781	76	107.547	84	2,301.705	88	2,682.5	85.7
Field	153.473	72	146.688	81	316.450	88	338.545	91	955.2	85.4
Orchard	0.369	57	-	-	13.733	82	1.936	86	16.0	81.9
Other cultivation	1.829	72	1.924	81	0.151	88	1.200	91	5.1	80.3
Natural glassland	7.011	30	15.691	58	-	-	21.296	78	44.0	63.2
Other glassland	2.820	30	3.389	58	-	-	3.388	78	9.6	56.8
Inland water	32.563	100	0.746	100	8.779	100	222.342	100	264.4	100.0
Woods(soft)	196.282	45	947.824	66	73.839	77	1,392.003	83	2,609.9	73.8
Woods(mixed)	1.569	45	35.165	66	-	-	1,379.425	83	1,416.2	82.5
Woods(hard)	49.759	45	94.184	66	-	-	270.329	83	414.3	74.6
Total or Avg.	1,236.106		1,567.700		645.212		7,430.247		10,879.3	83.2

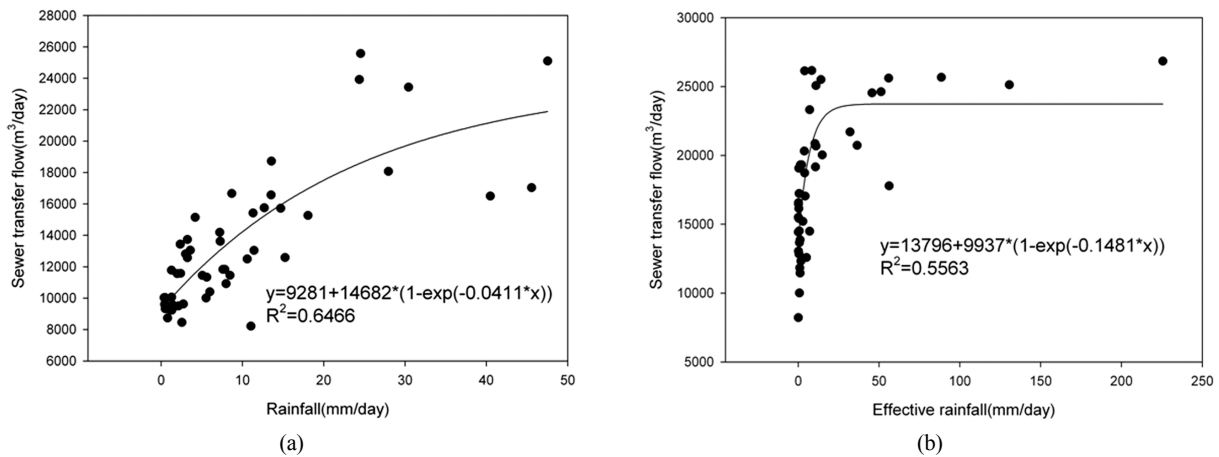


Fig. 7. Relationship between rainfall and sewer transfer flow by this study (a) and existing method (b).

이송유량 변화와 직접적으로 연관되어 있으며 그 변화유형에 따라 배출정도가 달라진다. 강우량에 해당하는 관거이송유량값을 알고 있으면 강우량과 관거이송유량 사이의 관계식을 설정할 수 있으며 강우량에 따른 관거이송유량 변화를 간편하게 추정할 수 있다. 본 연구에서는 합류식지역의 하수처리시설에 대한 관거이송유량 분포형태를 파악하고, 강우량과 관거이송유량 사이에 일정한 관계가 존재할 경우에 관거이송유량 변화를 용이하게 추정할 수 있도록 강우량과 관거이송유량 사이의 관계식을 작성하였다.

합류식 지역의 17개 하수처리시설 중 강우량 변화와 관거이송유량 사이에 유의성이 있다고 판단되는 시설은 11개 시설로 나타났으며, 6개 시설은 강우량 변화와 관거이송유량 변화 사이에 유의성이 없는 것으로 나타났다. 강우량-관거이송유량 관계식은 강우량 변화에 따른 관거이송유량 변화유형을 수식화하여 나타낸 것으로서 그 변화를 간편하게 추정할 수 있는 관계식이다. 강우량 변화에 따라 관거이송유량 변화가 나타나는 11개 시설 중 6개 시설은 결정계수(R²)가 0.5 이상으로 비교적 높게 나타났다. 강우조건 변화에 따라 관거이송유량 변화가 나타나는 경우와 강우조건 변화에 따라 관거이송유량 변화가 나타나지 않는 경우에는 관거배출부하량 산정에 있어서 차이점이 존재하게 된다. 그러므로 관거배출부하량 변화 분석시 본 연구에서 제시한 강우량-관거이송유량 관계식을 적용함으로써 보다 적절한 분석·평가가 이루어질 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

강미아, 조수현, 최병우, 윤영삼, 이재관(2009). 강우시 비점오염원의 오염부하특성-고구마 재배지를 대상으로-. *The Journal of Engineering Geology*, **19**(3), pp 365-371.
 국립환경과학원(2004). *수계오염총량관리기술지침*. 기상청(2007). *2007 강우자료*.
 김지호, 박영진, 최인호, 송재우(2004). 산림지역의 합류식 유출계수 산정에 관한 연구. *학술발표대회 논문집*, 한국

수자원학회, pp. 173-177
 대전광역시(2009). *대전광역시 제2단계 오염총량관리 기본계획*.
 박준대, 오승영(2010). 수질오염총량관리 배출부하량에 대한 강우영향 분석연구. *수질보전 한국물환경학회지*, **26**(4), pp. 646-653.
 송창수(2008). *하수관거 유입오염물질의 배출경로별 오염부하 조사분석*. 영산강·섬진강수계관리위원회·국립환경과학원 영산강강물환경연구소.
 윤용남(2007). *공업수문학*, 청문각
 윤조희(2008). *하수관거 유입오염물질의 배출경로별 오염부하 조사분석*. 낙동강수계관리위원회·국립환경과학원 낙동강물환경연구소.
 전라북도(2009). *전라북도 제2단계 오염총량관리 기본계획*.
 정강호(2006). *수유출곡선지수법의 활용을 위한 수문학적 토양군 분류*. 국립농업과학원 연구보고서
 충청남도(2009). *충청남도 제2단계 오염총량관리 기본계획*.
 하성룡(2008). *하수관거 유입오염물질의 배출경로별 오염부하 조사분석*. 금강수계관리위원회·국립환경과학원 금강물환경연구소.
 El-Din, A. G. and Smith, D. W. (2002). A neural network model to predict the waster inflow incorporating rainfall events. *Water Research*, **36**, pp. 1115-1126.
 Gupta, K. and Saul, J. (1996). Specific relationships for the first flush load in combined sewer flows. *Wat. Res.*, **30**(5), pp. 1244-1252.
 Mullis, R. M., Revitt, D. M., and Shutes, R. B. (1996). The impacts of urban discharges on the hydrology and water quality of an urban watercourse. *The Science of the Total Environment*, **189**, pp. 385-390.
 Ramanarayanan, T. S., Williams, J. R., Dugas, W. A., Hauck, L. M., and McFarland, A. M. S. (1997). Using APEX to identify alternative practices for animal waste management. *ASAE International Meeting, Minneapolis, MN*. Paper No. 9-2009.
 USDA (1986). *Urban Hydrology for Small Watersheds TR-55*, United States Dept of Agriculture.
 US EPA (1975). *Sewer Flow Measurement, A State-of-the-art Assessment*, EPA-600/2-75-1975.