

수질오염총량관리 관거월류부하 변화에 따른 배출부하량 산정방법

박준대 · 오승영* · 최옥연*

국립환경과학원 물환경연구부 수질총량연구과

*서울시립대학교 환경공학과

Estimation of Discharge Load due to Combined Sewer Overflows in the Management of Total Maximum Daily Loads

Jun Dae Park · Seung Young Oh[†] · Ok Youn Choi^{*}

Water Pollution Cap System Research Division, Water Environmental Research Department,
National Institute of Environmental Research

^{*}Department of Environmental Engineering, University of Seoul

(Received 18 January 2011, Revised 19 April 2011, Accepted 20 April 2011)

Abstract

The quantity of a discharge load can change with changes in rainfall in the area with a combined sewer system (CSS). To evaluate the implementation appropriately in the management of total maximum daily loads (TMDLs), the effects of rainfall changes should be considered in the estimation of the discharge load. The rainfall condition for the estimation of the discharge load in a certain year should be standardized to the same rainfall condition as that of the reference year. However, the calculation process is very complicated with its potential limitations. This study investigated and developed relatively simple methods for estimating the discharge load. Load conversion method (LCM) is designed to convert the discharge load under the current rainfall condition into that of the reference rainfall conditions. Simple rainfall data method (SRDM) is to simplify the estimation process of the discharge load by the simple conversion of rainfall data. These methods were applied to calculate the discharge load and examine the estimation results. From the results of this study the application of these methods may be useful for estimating the discharge load in the TMDL process.

keywords : Combined sewer system, Discharge load, Evaluation, Load estimation, Rainfall changes

1. 서론

수질오염총량관리를 위한 최종 목표년도의 할당부하량은 기본계획 강우조건을 기준으로 하여 산정된다. 기본계획에서 할당부하량이 정해지면 목표수질을 초과하는 단위유역에서는 시행계획을 수립하여 최종년도의 할당부하량을 준수할 수 있도록 연차별 배출부하량을 정하여 관리한다(환경부, 2002a, 2002b). 이행평가시에는 단위유역의 할당부하량 준수여부를 평가하기 위하여 기본계획에서 산정된 할당부하량과 연차별 배출부하량을 비교·평가한다(환경부, 2005). 연차별 배출부하량을 평가하는 것은 기본계획과 대비하여 연도별 오염원의 자연증감, 지역개발 및 삭감계획의 이행 등에 따른 상대적인 배출부하량 차이를 파악하기 위한 것이다.

단위유역의 강우조건이 변화하면 합류식지역에서는 오염원의 변화가 없는 상태 하에서도 관거배출부하량이 달라지며, 배출부하량의 차이가 발생하게 된다. 그러므로 기본계획 강우조건과 강우조건이 다른 상태에서 산정된 연도별

배출부하량을 그대로 직접 비교하여 할당부하량 준수여부를 평가하는 것은 평가의 왜곡을 초래하게 되어 실질적인 평가가 이루어지기 어렵다(박준대와 오승영, 2010).

할당부하량 준수여부를 평가하기 위해서는 기본계획 할당부하량과 연도별 배출부하량을 동일한 조건에서 비교·평가할 수 있는 표준화된 배출부하량 산정방법이 필요하다. 그러나 연도별 강우자료를 기본계획 강우조건으로 직접 전환하여 표준화하는 방법은 매우 복잡하고 여러 가지 한계점이 존재한다.

본 연구에서는 할당부하량 준수여부를 보다 정확하고 객관적으로 평가할 수 있도록, 할당부하량 산정조건과 동일한 조건에서 배출부하량을 산정할 수 있는 평가배출부하량 산정방법을 제시하는데 그 목적이 있다.

2. 연구방법

2.1. 관거배출량 산정과정 및 관거배출 발생조건

2.1.1. 관거배출량 산정과정

관거배출량은 강우조건이나 배수구역의 지역적 특성에 따라 다양하게 나타나므로 그 양을 정확히 산정하는 것은

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

매우 어려운 일이다(EI-Din and Smith, 2002). 수계오염총량관리 기술지침의 관거배출량 산정과정에서는 유효강우고(10 mm/일 이상의 강우강도 기준)와 유효강우일수(유효강우가 발생하는 일수)가 강우변수로 적용되며, 다음 식(1)~(6)과 같이 토지계 관거유입유량, 토지계 배출원관거유입부하량 및 오염원별 관거월류부하를 산정한다(국립환경과학원, 2004).

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

$$\begin{aligned} \text{토지계관거유입부하량} = \\ \sum(\text{유입계수} \times \text{연평균발생부하원단위} \times \text{차집면적}) \times \frac{\text{강우배출비}}{\text{유효강우일수비}} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{토지계관거유입부하비} = \frac{\text{토지계관거유입부하량} \times \text{유효강우일수비}}{\sum \text{토지계배출원발생부하량}} \quad (3)$$

$$\text{토지계배출원관거유입부하량} = \text{토지계관거유입부하비} \times \text{토지계배출원발생부하량} \quad (4)$$

$$\text{오염원별우기시관거월류부하} = \frac{\text{월류부하비}}{\text{오염원별우기시관거유입부하}} \quad (5)$$

$$\text{오염원별관거월류부하} = \text{오염원별우기시관거월류부하} \times \text{유효강우일수비} \quad (6)$$

토지계 관거유입유량 산정과정에 포함된 강우변수는 유효강우고로서 토지계 관거유입유량과 선형적인 비례관계에 있다. 즉, 유효강우고가 증가할 경우 토지계 관거유입유량이 선형적으로 증가하게 되며, 그에 따라 관거배출부하량이

증가하게 된다. 유효강우일수는 토지계 관거유입유량, 관거유입부하량, 관거누수부하량 및 관거월류부하량 산정과정에 포함되어 있는 강우변수이다. 유효강우일수는 토지계 관거유입유량과 선형적인 반비례관계에 있으므로 유효강우일수가 증가할 경우 관거유입유량이 선형적으로 감소하게 되어 관거배출부하량이 감소하게 된다. 관거유입부하량 산정과정에 포함된 유효강우일수는 반비례 과정과 비례과정이 서로 상쇄되어 관거배출부하량의 변화에는 영향을 미치지 않는다. 관거누수부하량 산정과정에 포함된 유효강우일수는 관거배출부하량 변화에 미치는 영향이 매우 미미하다. 또한, 관거월류부하량 산정과정에서는 선형적인 비례관계에 있으므로 유효강우일수가 증가할 경우 관거배출부하량이 선형적으로 증가하게 된다. 위의 관계를 종합하면 유효강우고와 관거배출부하량과 관계는 선형적인 비례관계로 나타나며, 유효강우일수와 관거배출부하량의 관계는 선형적인 비례관계 또는 반비례관계로 나타나게 된다.

2.1.2. 관거배출 발생조건

건기시 하폐수 관거유입유량과 우기시 강우 관거유입유량의 합이 관거이송유량의 한계 내에 있으면 관거배출량이 발생하지 않으나 우기시 강우유입으로 인하여 관거이송유량의 한계를 초과하게 되면 관거배출이 일어난다(Even et al., 2007; Hogland et al., 1984; Lacour et al., 2009). 관거유입유량은 유역의 오염원과 강우유출수의 양에 의하여 그 크기가 정해진다(Mullis et al., 1996). 관거배출에 가장 크게 영향을 미치는 것은 관거로 유입되는 우수유출수의 양으로서 강우강도 및 강우지속시간 즉, 일정 시간동안의 유효강우고와 유효강우일수와 같은 강우조건에 따라서 결정된다(Gupta and Saul, 1996).

관거이송유량은 관거 우수토구의 배출구조를 비롯하여 하수처리시설의 한계용량 및 유량 운영조건 등에 의하여

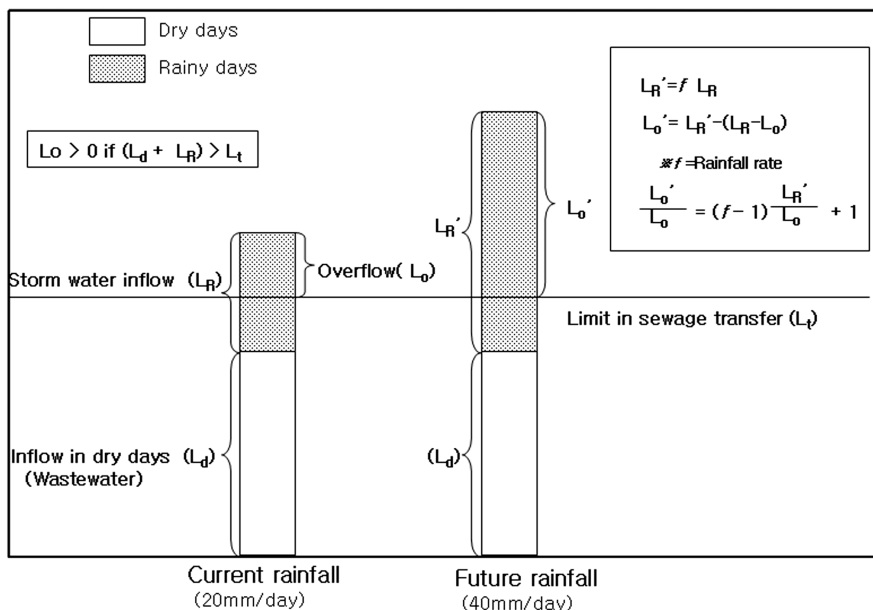


Fig. 1. Occurrence of sewer discharge with rainfall increase.

크게 지배를 받는다(송창수, 2008; 윤조희, 2008; 하성룡, 2008). 강우유입량이 증가하여 관거이송유량의 한계를 초과하게 되면 계속해서 관거배출량이 증가하게 되는데 강우유입량 증가율보다 더 큰 비율로 증가하게 된다. 그러나 건기시 관거유입량과 관거이송유량의 한계가 동일한 경우에는 강우유입량이 증가하는 비율만큼 동일한 비율로 관거배출량이 증가하게 된다(Fig. 1).

2.2. 평가배출부하량 산정방법 도출

연도별 배출부하량과 기본계획 상의 할당부하량을 직접 비교하기 위해서는 연도별 강우자료를 기본계획 강우조건인 강우자료로 전환한 상태에서 배출부하량이 산정되어야 한다. 그러나 유효강우고 및 유효강우일수가 서로 다른 자료를 동일하게 전환하는 것은 매우 어려운 일이며 여러 가지 한계점이 존재한다. 강우자료 전환에 대한 한계요인을 내포한 상태에서 적용할 수 있는 기존방법들로서는 동일자료 사용법, 혼합자료 사용법 및 부분자료 전환법 등이 있다. 동일자료 사용법은 기본계획에서 사용했던 강우자료 및 환경기초시설자료를 그대로 사용하는 방법으로서 기본계획과 동일한 자료를 사용하므로 배출부하량 산정시 관거이송 분석과정이 필요 없으며 기본계획에서 적용된 관거배출비를 그대로 사용하여 관거배출부하량을 산정한다. 이와 같이 산정한 배출부하량은 오염원의 자연증감, 지역개발 및 삭감계획의 이행 등에 의한 오염원 변화에 따른 배출부하량 변화는 고려되지만, 관거상태 변화와 환경기초시설의 유량운영조건 변화에 따른 배출부하량 변화를 고려할 수 없다는 단점이 있다. 혼합자료 사용법은 기본계획 강우자료와 연도별 환경기초시설자료를 혼합하여 사용하는 방법으로서 기본계획 강우시기와 연도별 강우시기 일치하지 않아 관거이송 분석과정에서 물질수지의 근본적인 왜곡을 초래하게 되어 관거이송 물질수지가 맞지 않는 단점이 있다. 즉, 강우가 관거로 유입되는 시기와 관거배출부하량이 발생하는 시기가 서로 다르게 나타날 수 있다. 부분자료 전환법은 연도별 강우자료 중 자료의 전환이 용이한 강우자료를 전환하여 사용하는 방법으로서 유효강우고는 기본계획 강우

조건에 맞도록 동일하게 전환이 가능하나 유효강우일수는 전환되지 않는 단점이 있다. 이와 같이 연도별 강우자료를 기본계획 강우조건인 자료로 직접 전환하여 배출부하량을 산정하는 것은 여러 가지 한계점이 있으므로 보편적으로 적용하기가 곤란한 방법이다.

평가배출부하량이란 할당부하량 준수여부를 평가하기 위한 배출부하량으로서, 연도별 강우조건 변화에 따른 영향을 받지 않도록 기본계획 할당부하량 산정조건과 동일한 강우조건 하에서 산정된 배출부하량을 말한다. 본 연구에서는 연도별 강우자료를 기본계획 강우조건인 자료로 직접 전환하여 배출부하량을 산정하는 대신, 배출부하량 산정과정에서 기본계획 강우조건이 반영되도록 하였다. 본 연구의 평가배출부하량 산정방법은 강우조건 변화에 따른 변환부하량을 산정하는 방법과 강우자료를 약식으로 전환하여 배출부하량을 산정하는 방법을 검토하였으며, 각각 「부하량 변환법」과 「약식 강우전환법」으로 명명하였다. 이 방법들의 유용성을 검토하기 위하여 대전지역의 2007년도 강우조건 및 배출부하량 자료(대전광역시, 2009)를 이용하여 평가배출부하량 산정방법을 적용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 관거배출부하 변화

합류식 관거로부터 배출되는 월류부하량은 도시지역 비점오염부하량의 많은 부분을 차지하고 있다. Fig. 2는 대전지역을 대상으로 2004년도를 기준으로 하여 5년간 관거유입부하량과 관거배출부하량 변화형태를 나타낸 것이다(대전광역시, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008). 관거유입부하량에 비해 관거배출부하량이 큰 폭으로 변화하는 양상을 나타내고 있다. 관거유입부하량은 연평균 약 5.8%의 변화율(-10.1~6.4% 범위)을 나타내고 있다. 관거배출부하량 변화율은 연평균 약 18.6%(-25.3~29.4% 범위)로서 매우 크게 나타나고 있다. 이와 같이 관거유입부하량의 변화가 크지 않음에도 불구하고 관거배출부하량의 변화가 크게 나타나는 것은 강우조건 변화와 크게 관련이 있음을 알 수 있다.

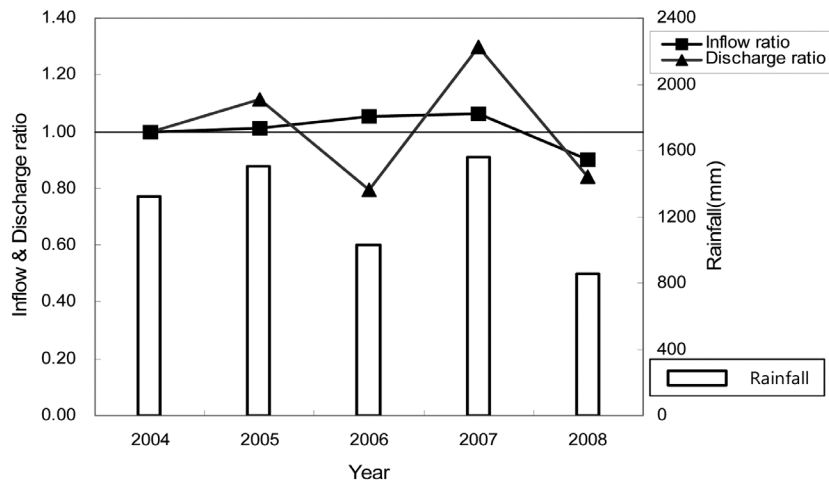


Fig. 2. The annual inflow load and outflow discharge with regard to rainfall amount (Dajeon metropolitan city).

Fig. 2에서 유효강우고와의 관계를 보면 유효강우고가 증가할수록 관거배출부하량이 증가하고 유효강우고가 감소할수록 관거배출부하량이 유사하게 감소하는 것을 알 수 있다.

3.2. 평가배출부하량 산정방법

3.2.1. 부하량 변환법

부하량 변환법은 현재 강우조건에 대한 배출부하량을 산정한 다음 이 강우조건을 기준으로 하여 유효강우고와 유효강우일수를 변화시켜 시나리오를 구성하고 각 시나리오에 대한 배출부하량을 산정한다. 시나리오별 배출부하량 산정결과를 바탕으로 “강우조건-관거배출부하량 관계곡선”을 작성하고 이 곡선 상에서 강우조건 차이 때문에 발생하는 변환부하량을 산정하여 실제 배출부하량에 가감함으로써 평가배출부하량을 산정한다(Fig. 3).

강우조건 변화 시나리오는 유효강우고 변화 시나리오 및 유효강우일수 변화 시나리오로 구분하여 구성한다. 유효강우고 변화 시나리오는 유효강우일수를 고정한 상태에서 현재 유효강우고를 기준으로 유효강우고를 증가 또는 감소시켜서 여러 가지의 유효강우고 조건을 설정한다. 유효강우일수 변화 시나리오는 유효강우고를 고정한 상태에서 현재의 유효강우일수를 기준으로 유효강우일수를 증가 또는 감소시켜서 여러 가지의 유효강우일수 조건을 설정한다. 유효강우고 및 유효강우일수 변화 시나리오는 “강우조건-관거배출부하량 관계곡선” 작성을 위하여 약 5단계 정도 작성한다. 현재 강우조건을 바탕으로 유효강우고-관거이송유량 관계곡선을 작성하여 관거이송패턴을 분석한다. 관거이송패턴을 분석하는 목적은 강우량(강우강도)의 변화가 관거이송유량 변화에 영향이 있다고 판단될 경우에 그 영향을 고려하여 배출부하량을 산정하고자 하는 것이다. 강우량과 관거이

송유량 사이의 관계곡선으로부터 관계식을 도출하고 상관 관계를 분석한다. 강우량과 관거이송유량 사이에 일정한 관계가 존재한다고 확인될 경우에는 그 영향을 고려할 수 있도록 시나리오별 강우량 조건에 대응하는 관거이송유량을 추정하여 환경기초시설의 월별 유입유량 자료를 다시 생성한다(박준대 등, 2010). 유효강우고 변화 시나리오 및 유효강우일수 변화 시나리오를 현재 강우조건 대신 적용하여 각 시나리오별 배출부하량을 산정한다. 각 시나리오별 배출부하량 산정결과로부터 유효강우고 조건변화에 따른 관거배출부하량 변화곡선과 유효강우일수 조건변화에 따른 관거배출부하량 변화곡선을 작성한다

다음 Fig. 4는 강우조건 변화에 따른 관거배출부하량의 차이를 나타내는 곡선이다. 그림에서 현재 유효강우고에 대한 관거배출부하량이 A이고 기본계획 유효강우고에 대한 관거배출부하량이 B라고 할 때, 유효강우고 변화에 따라 생기는 부하량 차이는 Δy 이다. Δy 는 기본계획 유효강우고(R_0)와 현재 유효강우고(R_1)의 차이 및 곡선상의 기울기(b)를 이용하여 다음 식 (7)과 같이 산정한다. 또한, 유효강우일수 변화에 따라 생기는 부하량 차이는 $\Delta y'$ 이다. $\Delta y'$ 는 기본계획 유효강우일수(R_0')와 현재 유효강우일수(R_1')의 차이 및 곡선상의 기울기(b')를 이용하여 다음 식 (8)과 같이 산정한다.

$$\Delta y = b \times \Delta x = b \times (R_0 - R_1) \tag{7}$$

$$\Delta y' = b' \times \Delta x' = b' \times (R_0' - R_1') \tag{8}$$

현재 강우조건에 대하여 산정한 실제 배출부하량(L1)에서 유효강우고에 의한 변환부하량(Δy)과 유효강우일수에 의한

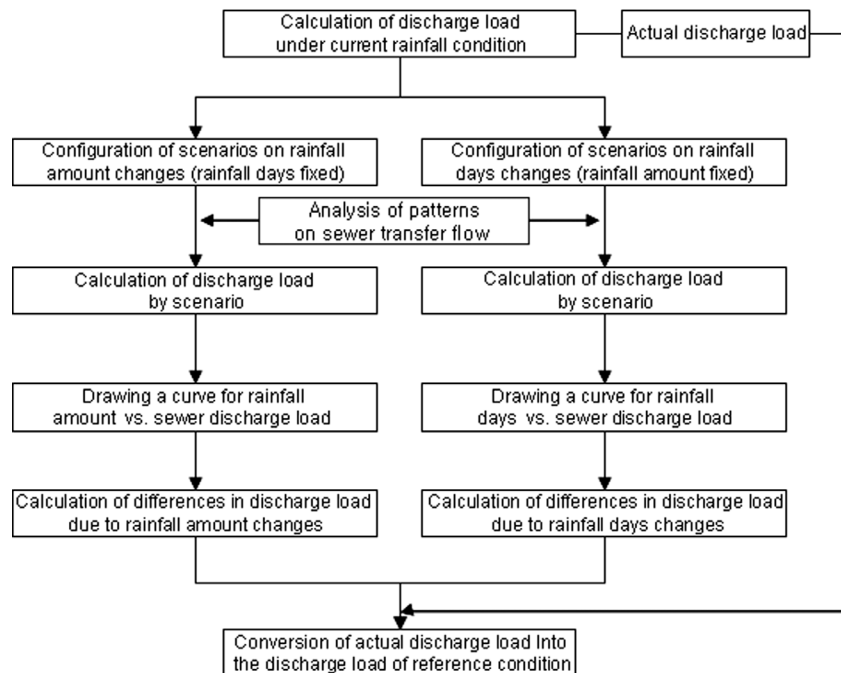


Fig. 3. The procedure for the calculation of discharge load by LCM.

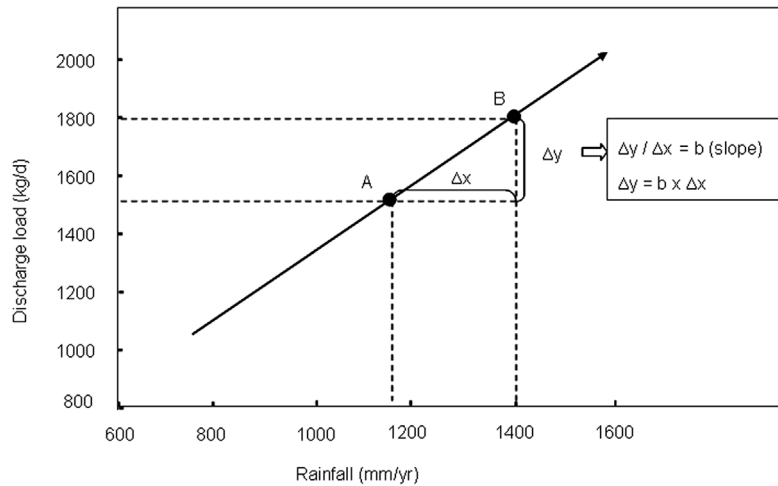


Fig. 4. A difference in pollutant discharge under the different rainfall conditions.

변환부하량($\Delta y'$)을 가감하여 다음 식 (9)와 같이 평가배출 부하량($L0$)을 산정한다.

$$L0 = L1 \pm \Delta y \pm \Delta y' \quad (9)$$

강우조건-관거배출부하량 관계곡선이 선형으로 나타나지 않거나 선형성이 낮을 경우에는 (예 : 상관계수가 0.9보다 작을 경우 등) 기울기를 이용할 수 없는 한계조건이 발생할 수 있다. 이와 같은 한계조건 하에서는 내삽법 또는 외삽법을 이용하여 관계곡선 상으로부터 직접 변환부하량을 구한다.

3.2.2. 약식 강우전환법

약식 강우전환법은 강우조건을 약식으로 전환하여 평가 배출부하량 산정절차를 간단하게 만든 방법이다. 강우조건 의 약식전환이 가능하도록 하기 위해서는 “유효강우일수의 소수화(소수점 이하자리의 유효강우일수)” 및 “평균화된 강우자료 전환”이라는 두 가지 특정 자료처리 전제조건이 필요하다. 일반적으로 유효강우일수는 정수로 표현되나, 평가 배출부하량 산정방법에서는 유효강우일수를 소수로 표현할 수 있도록 하고, 원시 강우자료를 전환(conversion of raw rainfall data) 하는 대신 부하량 산정과정에서 생성된 평균화된 강우자료(월단위 또는 특정 산정기간을 단위로한 강우 평균값)를 전환(conversion of averaged rainfall data) 하도록 한다. 예를 들어 월단위 강우 평균값이란 유효강우가 발생하는 우기일의 유효강우량을 월별로 평균한 값을 의미한다. 평균화된 강우자료를 소수로 표현하면 유효강우일수를 용이하게 증감시킬 수가 있다.

두 가지 특정 자료처리 전제조건 하의 약식 강우전환법에 의한 평가배출부하량 산정절차를 나타내면 다음 Fig. 5와 같다. 현재 강우조건에 대한 배출부하량을 산정한 다음, 월별로 평균화된 강우자료를 전환시킨다. 즉, 월별 유효강우고 및 유효강우일수를 비례적인 방법으로 증감시켜 기본계획 강우조건 의 유효강우고 및 유효강우일수와 일치되도록 전환한다. 유효강우고와 관거이송유량 사이에 일정한 관

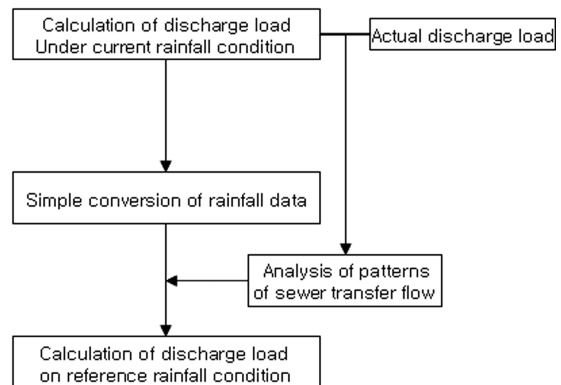


Fig. 5. The procedure for calculating the discharge load by SRDM.

계가 존재할 경우에는 그 영향을 고려한다. 기본계획 강우조건으로 전환된 월별 강우자료를 적용하여 기술지침의 배출부하량 산정방법과 동일한 방법으로 평가배출부하량을 산정한다.

현재 강우조건과 기본계획 기본계획 강우조건 의 차이가 매우 클 경우, 유효강우일수 증가시나 유효강우고 감소시에 월평균 유효강우고가 10 mm/d 미만이 되는 한계조건이 발생할 수 있다. 이와 같은 한계조건에서는 다소 복잡한 과정을 거치더라도 증감과정을 몇 단계로 구분하여 단계별 최소 증감율을 계산한 다음 단계적으로 유효강우고 및 유효강우일수를 증감시키며, 월평균 강우량이 10 mm/d 미만이 되는 조건이 발생하지 않은 상태에서 기본계획 강우조건과 일치되도록 한다.

3.3. 평가배출부하량 산정식 적용결과

평가배출부하량 산정식 적용결과를 검토하기 위하여 비교 기준이 되는 강우조건을 설정하고 배출부하량을 산정하였다. 비교기준 강우조건은 현재 강우조건으로부터 자료전환에 대한 한계조건이 발생하지 않도록 설정하였다. 현재 강우조건에 비하여 유효강우고가 약 10% 증가하고 유효강우일수가 약 30% 증가한 조건으로 설정하였으며, 비교기준

Table 1. Discharge load under current and reference rainfall condition

	Current condition	Reference condition	Change ratio (%)
Rainfall (mm/yr)	1,561	1,711	9.6
Rain days (day/yr)	49	64	30.6
CSOs discharge load	1,255.4	1,126.9	-11.4
Total discharge load (kg/d)	24,688.5	24,579.4	-0.4

강우조건의 배출부하량은 현재 배출부하량에 비하여 약 0.4%인 109 kg/d이 감소한 24,579.4 kg/d로 산정되었다(Table 1).

부하량 변환법으로 평가배출부하량을 산정하기 위하여 환경기초시설의 관거이송량을 고정 후 유효강우고 및 유효강우일수에 대한 시나리오를 설정하고 각 시나리오별 배출부하량을 산정하였다. 시나리오별 배출부하량 산정결과를 바탕으로 유효강우고-관거배출부하량 관계곡선 및 유효강우일수-관거배출부하량 관계곡선을 작성하였다. 강우조건 변화에 따른 관거배출부하량 변화형태는 다음 Fig. 6과 같이 선형성이 높은 경우로 유효강우고가 2배 증가하였을 경우에 약 2.9배로 증가하는 것으로 나타났으며, 유효강우일수가 2배 증가하였을 경우에는 약 1.9배로 감소하는 것으로 나타났다. 유효강우고에 의한 변환량은 228.3 kg/d가 증가하고 유효강우일수에 의한 변환량은 352.2 kg/d가 감소하여, 부하량 총 변환량은 123.9 kg/d로서 평가배출부하량은 24,564.6 kg/d로 산정되었다.

약식 강우전환법에 의한 평가배출부하량을 산정하였다. 현재 강우조건의 월별자료를 비교기준 강우조건의 월별자료로 전환하여 기술지침의 배출부하량 산정절차에 따라 배출부하량을 산정하였으며, 약식 강우전환법에 의한 평가배출부하량은 24,582.0 kg/d로 산정되었다.

평가배출부하량 산정결과와 유용성을 검토하기 위하여 비교기준 배출부하량과의 차이를 분석하였다(Table 2). 부하량 변환법에 의한 평가배출부하량의 차이는 -14.8 kg/d으로서 -0.06%의 오차율로 나타났고, 약식 강우전환법에 의한 차이는 2.6 kg/d으로서 -0.01%의 오차율로 나타났다. 부하량 변환법과 약식 강우변환법은 모두 오차율이 0.1% 이하로서 정확성이 매우 높은 것으로 나타났으며, 평가배출부하량 산정방법으로 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

각 방법별 특징을 보면, 부하량 변환법은 정확성은 높으나 산정절차가 복잡하여 간편성은 매우 낮고, 약식 강우전환법은 정확성과 간편성이 모두 높다(Table 3). 따라서 약

Table 2. Results from the applications of the methods for calculating the discharge load

	LCM	SRDM
Calculated discharge load (kg/d)	24,564.6	24,582.0
Difference in discharge load from reference condition (kg/d)	-14.8	2.6
Error (%)	-0.06	0.01

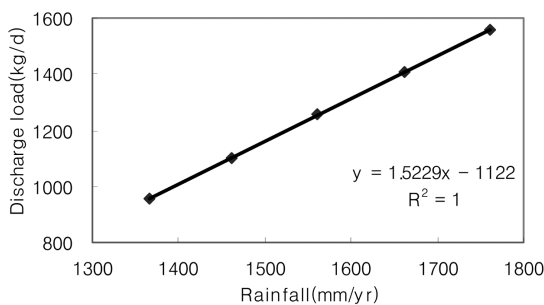
Table 3. Characteristics of the methods for calculating the discharge load

	LCM	SRDM
Accuracy	High	High
Simplicity	Very low	High
Practicability	Relatively low	Very high
Utilization	2nd Method	1st Method

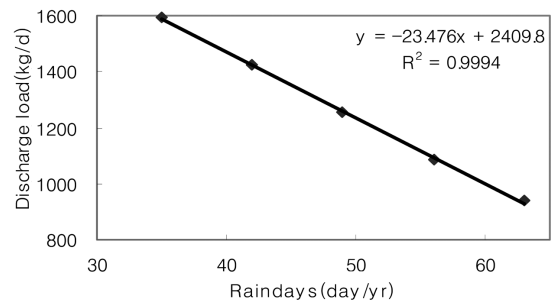
식 강우전환법이 실무에서 보다 보편적으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

단위유역의 연도별 배출부하량과 기본계획에서 정해진 할당부하량을 직접 비교평가하기 위해서는 배출부하량 산정을 위한 강우조건이 기본계획과 동일한 조건이어야 한다. 그러나 연도별 강우자료를 기본계획 강우조건으로 직접 전환하여 배출부하량을 산정하는 것은 매우 어렵고 여러 가지 한계점이 존재하므로 보편적으로 적용하기가 곤란한 방법이다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 비교적 용이한 방법으로 배출부하량 산정조건을 기본계획 강우조건으로 표준화하여 동일한 조건에서 배출부하량을 산정할 수 있는 평가배출부하량 산정방법을 도출하였다. 평가배출부하량 산정방법으로 부하량 산정식에 기초한 부하량 변환법과 약식 강우전환법을 검토하였다. 부하량 변환



(a) Relationship between rainfall & discharge load



(b) Relationship between rain days & discharge load

Fig. 6. Relationships between the rainfall condition and discharge load from the combined sewer pipes in Daejeon area.

법은 강우조건 차이 때문에 발생하는 유효강우고 및 유효강우일수에 따른 각각의 변환부하량을 산정하여 평가배출부하량을 산정하는 방법이다. 약식 강우전환법은 부하량 변환법의 복잡성을 줄이기 위하여 현재 강우조건을 약식으로 전환하여 평가배출부하량을 간단하게 산정하는 방법이다.

평가배출부하량 산정방법의 적용성을 검토한 결과, 부하량 변환법과 약식 강우전환법은 오차율 0.1% 이하로서 정확도가 매우 높은 것으로 나타났다. 부하량 변환법은 정확도는 높으나 간편성이 낮아 실용성은 비교적 낮은 편이고, 또한 강우조건-관거배출부하량 관계가 낮을 경우에는 기울기를 이용할 수 없는 한계조건이 발생할 수 있으므로 한계조건 하에서는 내삽법 또는 외삽법을 이용하여 변환부하량을 산정하여야 한다. 약식 강우전환법은 정확도와 간편성이 높아 실용성이 매우 높은 방법이라고 할 수 있다. 이들 방법들을 적용하여 평가배출부하량을 산정함으로써 수질오염총량관리 이행평가 과정에서 할당부하량 준수여부를 보다 합리적이고 객관적으로 평가할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- 국립환경과학원(2004). 수계오염총량관리기술지침.
- 대전광역시(2004). 대전광역시 제1단계 오염총량관리 시행계획.
- 대전광역시(2005). 대전광역시 오염총량관리 시행계획 2005년도 이행평가보고서.
- 대전광역시(2006). 대전광역시 오염총량관리 시행계획 2006년도 이행평가보고서.
- 대전광역시(2007). 대전광역시 오염총량관리 시행계획 2007년도 이행평가보고서.
- 대전광역시(2008). 대전광역시 오염총량관리 시행계획 2008년도 이행평가보고서.
- 대전광역시(2009). 대전광역시 제2단계 오염총량관리 기본계획.
- 대전기상청(2009). 2000~2009 연도별 강우자료.
- 박준대, 오승영(2010). 수질오염총량관리 배출부하량에 대한 강우영향 분석연구. 수질보전 한국물환경학회지, 26(4), pp. 646-653.
- 박준대, 오승영, 김지태(2010). 수질오염총량관리 합류식지역의 우기시 관거이송 변화유형. 수질보전 한국물환경학회지, 26(6), pp. 1008-1015.
- 송창수(2008). 하수관거 유입오염물질의 배출경로별 오염부하 조사분석. 영산강·섬진강수계관리위원회·국립환경과학원 영산강강물환경연구소.
- 윤조희(2008). 하수관거 유입오염물질의 배출경로별 오염부하 조사분석. 낙동강수계관리위원회·국립환경과학원 낙동강물환경연구소.
- 하성룡(2008). 하수관거 유입오염물질의 배출경로별 오염부하 조사분석. 금강수계관리위원회·국립환경과학원 금강물환경연구소.
- 환경부(2002a). 금강수계 물관리 및 주민 지원 등에 관한 법률 시행규칙.
- 환경부(2002b). 금강수계 오염총량관리 기본방침.
- 환경부(2005). 3대강수계 오염총량관리시행계획 이행평가기준 고시, (환경부고시 제2005-155호, 2005.11.16).
- 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.
- Even, S., Mouchel, J. M., Servais, P., Flipo, N., Poulin, M., Blanc, S., Chabanel, M., Paffoni, C., and Duchesnes, S., (2007). Modeling the impacts of combined sewer overflows on the river Seine water quality. *Science of the Total Environment*, 375, pp. 140-151.
- Gupta, K. and Saul, A. J. (1996). Specific relationships for the first flush load in combined sewer flows. *Water Research*, 30(5), pp. 1244-1252.
- Hogland, W., Berndtsson, R., and Larson, M. (1984). Estimation of Combined Sewer Overflow Discharge From the City of Malmö. *Nordic Hydrology*, 15, pp. 333-340.
- Lacour, C., Jonnis, C., and Chebbo, G. (2009). Assessment of annual pollutant loads in combined sewers from continuous turbidity measurements : Sensitivity to calibration data. *Water Research*, 43, pp. 2179-2190.
- 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. *Science of the Total Environment*, 190, pp. 385-390.