

제주도 서귀포시지역의 용도지역별 하수발생량 특성에 관한 연구

정 광 옥 · 류 성 필*

탐라대학교 토목환경공학과 · 제주대학교 환경공학과
(2003년 10월 24일 접수; 2004년 3월 17일 채택)

A study on the characteristics of wastewater flowrate in land-use of Sogwipo-city in Cheju

Kwang-Ok Choung and Seong-Pil Ryu*

Dept. of Civil and Environmental Engineering, Tamna University, Jeju 697-340, Korea

*Dept. of Environmental Engineering, Cheju National University, Jeju 690-756, Korea

(Manuscript received 24 October, 2003; accepted 17 March, 2004)

To identify the characteristics of wastewater flow generated in treatment basins of Seogwipo-city, we selected 3 stations representing the basin and performed 7 times of field survey including 5 times in dry periods and 2 times in wet periods from Feb. 25 to May 27, 2002 for the selected stations.

From the analysis of flow data measured for more than 60 days in the interval of 5 minutes and concentration data obtained from laboratory analysis, we can draw several conclusions. First, in the analysis of diurnal variation of wastewater flow for land-use types, we could find the following results: in the residential area, it is observed that wastewater flow rates rise early in the morning for the office-going hour and fall gradually and rise again after the office-leaving hour, showing typical residential wastewater flow pattern, while for the residential and commercial area flow rates rise early in the morning at the office-going hour and move up and down repeatedly within wide range and last till the office-leaving hour, which can be resulted from wastewater that is generated by tourists activated after early in the afternoon, while for the touristy area flow rates rise early in the morning and fall gradually and rise again within wide range. Second, in the analysis of temporal variation of wastewater flow for monthly, it can be observed that in the residential area, in the residential and commercial areas the flow rate of May is higher than that of Feb., March, while for the touristy area flow rate is without monthly because it reflects the movement of population, Third, in wet periods concentration of water-quality item such as SS, BOD, and COD_{Cr} is high in the beginning of rainfall by first flush, and falls down gradually to reach the steady state, which is the level of wastewater in dry periods after the cease of storm water due to diluting effect resulting from additional runoff water through storm sewers.

Key Words : Treatment basins, Wastewater flowrate, Dry periods, Wet periods

1. 서 론

우리나라 하수도는 1980년대 초 하수도법을 제정, 본격적인 하수처리사업을 시작하여 '86년 아시안 게임 및 '88년 올림픽 유치를 계기로 하수도에 대한 관심이 급증하고, 본격적인 투자증대가 이루어진 이

래 최근에는 소규모 마을하수도 사업, 관거정비사업, 하수고도처리사업·연계철리사업 및 통합 운영 관리분야 까지 바른 속도로 선진화되고 있다. 1993년 하수도 보급률 41.3%에서 2001년 73.2%로 신장된 것은 최근 우리나라의 하수도가 얼마나 많이 발전했는지를 정량적으로 나타내 준다. 이중 하수관거의 보급률은 1993년의 60.7%에서 2001년의 63.8%로 3.1%정도 증가하였다. 지남 10년간 하수도정책이 얼마나 하수관거 보급을 상대적으로 경시하고 하수처리장 신·증설에 치중해 왔는지를 단적으로 보여주

Corresponding Author : Kwang-Ok Choung, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Tamna University, Jeju 697-340, Korea
Phone : +82-64-735-2116
E-mail : kochoung@tmu.ac.kr

고 있다¹⁾.

또한 정부는 1996년 물 관리 종합대책(1996~2005년)을 수립하여 전국의 상수원을 수질환경기준 2급수 이상으로 개선하기 위하여 최근 5년간 10조 1,479억원을 하수종말처리시설과 하수관거정비 등에 투자하였지만 개선효과는 미미한 실정이다. 이는 하수관거정비의 불량으로 하수종말처리시설의 유입수 수질은 낮고 유입하수량이 시설 용량에 비하여 과소하거나 과도한 설정으로 투자에 비하여 개선효과는 미미하였기 때문이다. 이러한 문제를 종합적으로 해결하기 위하여 Harvey는 합류식 하수관거에서 월류수를 통제하여 인근 수역의 수질관리를 위해 I/I량(Infiltration/Inflow)을 추정한다²⁾고 있고, 미국의 King County에서는 I/I 및 월류수를 관리하기 위하여 하수관거 정비의 타당성 조사를 조사·추진하기 위하여 하수도 관리 시스템을 개발하여 운영 중에 있다²⁾.

본 연구의 대상지인 서귀포시의 하수관거 보급율은 65.6% 전국 63% 및 제주도 58.1%에 비해 높은 것으로 조사되었다. 현재 운영중인 서귀포시 하수종말 처리장은 동부(보목), 서부(중문) 2개소이며, 처리 용량은 동부하수종말처리장은 20,000톤/일, 서부하수종말처리장은 15,000톤/일이다³⁾. 경기도 청평하수종말 처리장인 경우 설계수질은 BOD 131mg/L, SS 117mg/L이나 유입수질은 BOD 28mg/L, SS 34mg/L로 설계수질보다 턱없이 낮은 하수가 처리장으로 들어오고 있는 실정이며, 또한 서귀포 하수종말 처리장의 유입 수질은 동부인 경우 BOD 114.4mg/L, SS 87.5mg/L이고, 서부인 경우 BOD 116mg/L, SS 96.8mg/L로서 이는 생활하수의 평균수질이 BOD 150mg/L 이상임을 고려 할 때 발생원으로부터 관로를 유하하면서 지하수를 포함한 여러 가지 형태의 불명수가 유입되고 누수되는 것으로 사료된다⁴⁾. 환경부 자료에 의하면 관거 불량으로 하수가 처리장으로 운반되는 과정에서 지하수 유입이 43%, 하수누수가 36%로 도달하는 하수는 107%가 되는 것으로 조사되었다^{2,5)}.

따라서 본 연구는 서귀포시를 대상으로 용도지역별로 세분화하여 기상상태에 따라 시간적, 공간적 하수발생량과 하수특성을 조사하여 용도지역별 특성을 파악하고 기존의 하수관거 정비에 따른 기초적인 자료를 정량적으로 제시하는 데 목적이 있다.

2. 연구 내용 및 범위

2.1. 대상 지역 수환경 현황

제주도인 경우 장축의 길이가 73km, 단축의 길이가 31km의 타원형으로서 한라산을 정점으로 하여 방사상 형태의 수계를 이루고 있다. 하천의 형태는 남북사면에 걸쳐 많이 발달해 있고, 동서 양측에서

는 수계의 발달이 미약하다. 제주도의 모든 하천은 대부분 깊이가 40~50m이고 하천의 폭이 20~30m의 계곡을 형성하여 V자형 형태의 건천이며 긴 하천이라도 그 길이는 겨우 30km에 불과하고 대부분 15km내외이다. 하천의 근원지는 한라산을 정점으로 한라산 중산간 지대로서 해발 200~600m사이를 말하며 막대한 양의 지하수가 보전되어 있다. 서귀포인 경우 지방2급하천 22개소 197.9km, 소하천 13개소 29.1km의 연장길이를 가지고 있으나 동홍천, 연외천, 강정천을 제외한 다른 하천은 대부분 건천이다³⁾.

서귀포시인 경우 한라산 남쪽에 위치하고 있으며 동으로는 남제주군 남원읍에 접해 있고, 서쪽으로는 남제주군 안덕면에 접해있다. 서귀포시는 제주시와 1시간 이내의 거리에 있으며, 우리나라 제일의 관광도시로서 사회적, 경제적으로 중요한 역할을 담당하고 있다⁴⁾. 서귀포시의 하수처리 구역은 Fig. 1에서와 같이 동부, 서부 2개 처리구역 20개 처리분구로 구성되어 있으며, 본 연구에서는 처리 구역중 동부에서 처리 분구 2개, 서부에서 1개를 선정하여 총 3개를 표본지역으로 선정하였다. 표본지역의 기초 현황은 자료는 Table 1에 나타내었다. Seogwipo-1 지점은 도시계획구역내로 저밀도 주거지역이고 하수배제 방식은 합류식이며, Seogwipo-2지점은 시가지 중심지역으로 일반주거와 상업지역으로 대부분 합류식 하수관거로 이루어져 있으며, 최근 일부 분류식 관거 정비가 완료된 지역이다. Seogwipo-3지점은 관광지로서 유동인구가 많은 지역으로 분류식 관거지역이다. 유역 면적은 Seogwipo-1, 2, 3 처리분구 순으로 23.8ha, 63.8ha, 38.3ha로 각각 조사되었다. 상수도 사용량은 대체적으로 인구에 비례하는 것으로 조사되었으며, 유역내 인구가 많은 Seogwipo-

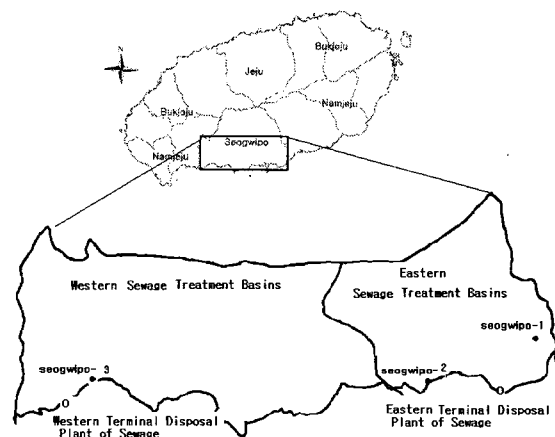


Fig. 1. location of study area showing sewage treatment basins and sampling stations.

Table 1. characteristics of sewage treatment basins

Station	Types of sewer system	Population	Water consumption (m ³ /d)	Area (ha)	Sewer		Landuse types
					Mean Diameter(mm)	Total length(km)	
Seogwipo-1	combined	1,352	465	23.8	300~700	3.51	Residential
Seogwipo-2	combined	7,304	2,512	63.8	300~1200	25.2	Residential, Commercial
Seogwipo-3	separated	3,805	1,309	38.3	250~300	1.5	Touristy

2 처리 분구에서 2,512m³/day로 가장 많은 것으로 나타났다⁵⁾.

2.2. 유량조사 및 수질분석

현장조사는 유량조사와 채수를 동시에 수행하였으며, 조사지점의 기준은 하수처리장 또는 중계펌프장 유입구, 주요 처리분구의 최하류, 하수의 차집지점, 주요 하수관거 합류점 등을 기준으로 Fig. 1에서와 같이 Seogwipo 3개 지점을 선정하였다. 유량조사는 미국에서 하수량 측정량으로 널리 사용되고 있는 FLO-TOTEⅡ(Model 260Ⅱ)를 사용하여 2002년 2월 25일부터 동년 5월 27일까지 60일 이상 5분 간격으로 연속적으로 하수량을 측정하였다. 수질조사는 선정된 지점에서 2002년 2월 25~26일, 3월 3~4일, 3월 10~11일, 5월 12~13일, 5월 26~27일 등 비강우시 5회, 3월 21~22일(강우량 290mm), 5월 14~15일(1,015mm) 등 강우시 2회 등 총 7회를 수행하였다. 지점별로 매회 24시간 동안 2시간 간격으로 12회 채수하였으며, Ice-Box에 냉장 보관하여 실험실로 운반하여 BOD, COD_{Cr}, COD_{Mn}, SS, T-N, T-P 등 6개 항목을 Standard Methods에 준하여 정량 분석하였다⁶⁾.

3. 결과 및 고찰

3.1. 비강우시 용도지역별 하수 발생 특성

서귀포시 동부, 서부 3개 지점을 대상으로 각 용도별 하수량의 특성을 파악하기 위하여 60일 이상 일정시간 간격으로 연속 측정된 유량자료 중에서 조사시기의 일별자료를 시간대별 평균하여 유량자료를 작성하였다. 비강우시 총 5회에 걸친 수질조사결과 자료를 시간대별로 평균하여 각 수질측정항목별로 평균농도를 산정하였다. Seogwipo-1 지점은 주거지역이고 Seogwipo-2지점은 주거 및 상업지역을 포함하고 있으며, Seogwipo-3지점은 중문 관광단지 관광지역 등으로 세분화하여 각 용도지역별 하수 발생량 및 수질 농도에 대하여 조사하였다.

3.1.1. 비강우시 용도지역별 하수량 및 수질의 시간적 변화

3.1.1.1. 주거지역

Fig. 2의 (a), (b)는 Seogwipo-1지점의 시간대별 하수발생량 및 수질농도의 변화를 보여주고 있다.

Fig. 2의 (a)의 하수발생량 변화를 보면 최대 유량은 19시 15분경 504.8m³/d로 조사되었으며, 최소유량은 04시 45분경 154.0 m³/d로 조사되었다. 또한 아침시간대인 07시 30분경부터 08시경, 11시부터 13시경, 18시부터 20시경에 하수량이 급격하게 상승하는 패턴을 보였다. 그리고 22시부터 05시까지의 감소하는 패턴을 나타내었다. 황²⁾의 연구결과에 의하면 전형적인 주거지역인 경우 오전 출근 시간대와 오후 퇴근 후 등 하루 2차례에 걸쳐 하수량의 피크가 발생하고 새벽녘에 최소 유량을 보인다고 하였으며, 본 연구에서도 비슷한 연구 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 11시부터 13시경까지의 유량 상승 패턴은 조사지역내의 근로대상 대부분이 감귤 과수원이며, 주거 지역내에 위치한 관광농원에 의하여 하수발생량이 증가한 것으로 사료된다. Fig. 2의 (b)의 수질농도 변화를 보면 BOD, COD_{Cr}, SS, COD_{Mn}는 하수량 변화 패턴과 유사 관계를 보였으나 T-N, T-P인 경우는 밀접한 관계를 보이지 않는 것으로 나타났다. 그리고 수질 농도의 변화는 BOD 농도인 경우 147.3-324.3mg/L의 범위를 보였으며, COD_{Cr} 231.9-421.6mg/L, SS 68.2-148.2mg/L, COD_{Mn} 58.1-120.9 mg/L, T-N 38.71-52.00mg/L, T-P 3.19-5.13 mg/L의 범위를 보였다.

3.1.1.2. 주거·상업 복합지역

Fig. 3의 (a), (b)는 주거·상업 혼합 지역인 Seogwipo-2지점의 시간대별 하수발생량 및 수질농도의 변화를 보여주고 있다. Fig. 3의 (a)의 하수발생량 변화를 보면 최대 유량은 22시 30분경 1,347 m³/d로 조사되었으며, 최소유량은 04시 15분경 25.4 m³/d로 조사되었다. 또한 아침시간대인 06시경부터 점점 증가하기 시작하여 22시 30분경에 최고 하수발생량에 이른 다음 감소하는 패턴을 보였다. 주거·

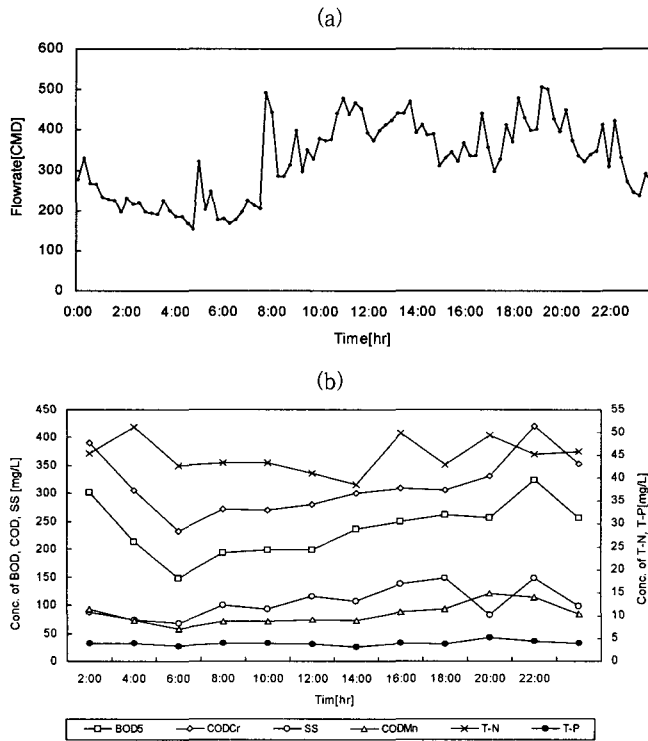


Fig. 2. Diurnal variation of wastewater flowrate and water quality concentration(Residential area).

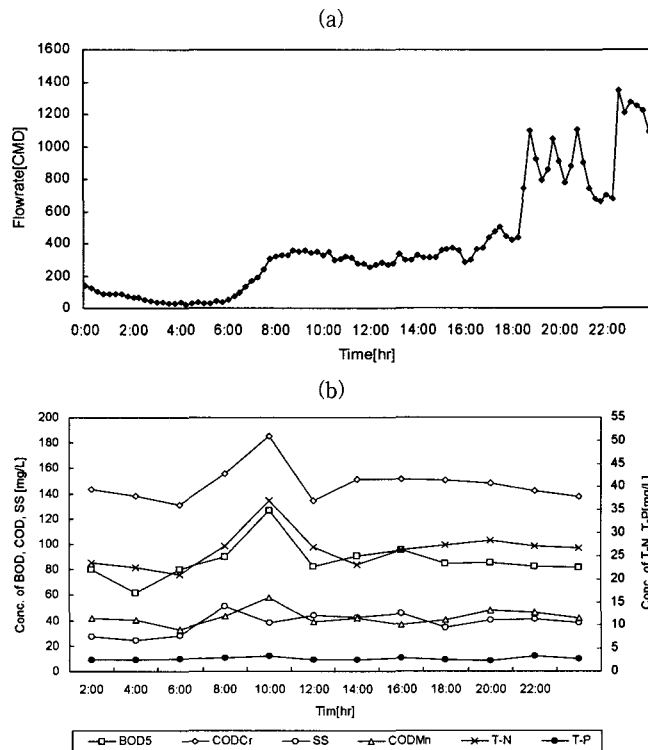


Fig. 3. Diurnal variation of wastewater flowrate and water quality concentration(Residential, Commercial area).

제주도 서귀포시지역의 용도지역별 하수발생량 특성에 관한 연구

상업지역인 경우 하수 발생량 변동을 정확하게 정할 수 없으나 유동인구수에 따라 그 차이가 나타나는 것⁷⁾으로 사료된다. 06시경부터 PM 10시 30분경까지 하수량이 증가하는 것은 관광단지의 인근 지역으로 숙박시설, 음식점, 관광객의 이동 등의 이유로 사료되며 취침시간(보통 22시 30분이후)에 이르러서야 하수량이 감소하는 것으로 사료된다. Fig. 3의 (b)의 수질농도 변화를 보면 하수 발생량이 증가하는 06시부터 증가하기 시작하여 하수량의 변화가 거의 없는 08시부터 10시경에 최고의 수질 농도 변화를 보이고 있다. 수질 농도의 변화는 BOD 농도인 경우 61.7-126.9mg/L의 범위를 보였으며, COD_{Cr} 131.4-185.1mg/L, SS 24.6-51.3mg/L, COD_{Mn} 32.9-57.8mg/L, T-N 221.05-36.97mg/L, T-P 2.24-3.31mg/L의 범위를 보였다.

3.1.1.3. 관광단지

Fig. 4의 (a), (b)는 중문 관광 단지인 Seogwipo-3 지점의 시간대별 하수발생량 및 수질농도의 변화를 보여주고 있다. Fig 4의 (a)의 하수발생량 변화를 보면 최대 유량은 16시30분경 1,425.1m³/d로 조사되었으며, 최소유량은 03시 30분경 47.1m³/d로 조사되었다. 그림에서 알 수 있듯이 04시에서 06시, 11시에

서 13시, 16시부터 18시, 22시부터 23시에 하수 발생량이 증가하는 패턴을 보였다. 이와 같이 하수 변동 폭이 뚜렷한 것은 관광단지 지역으로 관광숙박자의 식사준비 및 세면, 샤워 등에 이용하는 물 사용 시기에 따라 그 차이가 나타나는 것으로 사료된다. 중문 관광 단지인 Seogwipo-3지점은 분류식 하수관거 지역으로 하수발생량 변화에 따른 수질 농도 변화의 관계는 하수량이 증가하였다가 감소하는 시기에 수질 농도도 증가하는 것으로 나타났다. Fig. 4의 (b)의 수질농도 변화를 보면 BOD 농도인 경우 67.4-110.1mg/L의 범위를 보였으며, COD_{Cr} 149.1-284.9mg/L, SS 78.0-148.8mg/L, COD_{Mn} 45.7-74.6mg/L, T-N 31.25-31.52mg/L, T-P 3.002-4.377mg/L의 범위를 보였다.

3.1.2. 비강우시 용도지역별 하수량 및 농도의 공간적 변화

3.1.2.1. 유량

각 지점별에 대한 유량변화는 주거지역과 주거 및 상업 혼합지역, 관광지역으로 구분하여 평균, 최소, 최대 유량값 및 최소, 최대 유량비를 구하여 Table 2에 나타내었다. 주거지역은 최소유량비가 평균 0.473, 최대유량비가 1.552로서 하수량의 변동 폭

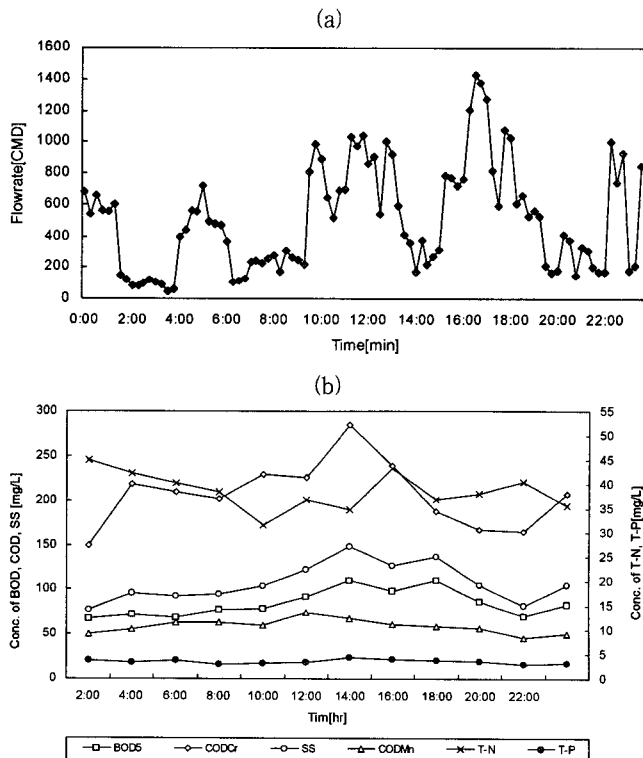


Fig. 4. Diurnal variation of wastewater flowrate and water quality concentration(Touristy area).

Table 2. Maximun, minimum and average flowrates and their ratios for landuse types(Unit : m³/d)

landuse types	Residential	Residential and Commercial	Touristy
Station	Seogwipo-1	Seogwipo-2	Seogwipo-3
Mean Flow	325.3	393.3	511.6
Minimum Flow	153.9	25.4	47.1
Ratio ^{a)}	0.473	0.064	0.092
Maximun Flow	504.8	1,346.5	1,425.2
Ratio ^{b)}	1.552	3.423	2.786

^{a)}Ratio of minimum flow to mean flow, ^{b)}Ratio of maximum flow to mean flow

이 주거 및 상업 혼합지역과 관광지역에 비하여 작은 것으로 나타났다. 주거 및 혼합지역인 경우 Seogwipo-2지점이 최소 유량비 0.064, 최대 유량비 3.423으로 하수량 변동 폭이 가장 큰 것으로 조사되었으며, 관광지역인 경우 최소 유량비 0.092, 최대 유량비 2.786으로 하수량 변동 폭이 큰 것으로 조사되었다. 이는 주거지역인 경우 일정한 생활패턴으로 하수량이 발생되나 주거 및 상업혼합지역, 관광지역인 경우는 유동인구 수 크기에 따른 활성도에 의해 하수량이 발생하므로 이에 대한 영향으로 사료된다.

3.1.2.2. 수질 농도

Table 3은 비강우시 5회 채수하여 6개 항목에 대하여 분석한 수질 농도 결과를 최대, 최소, 평균값을 나타내었다. 수질분석 항목별 BOD, COD_{Cr}, COD_{Mn}의 최대값은 주거지역인 Seogwipo-1지점에서 각각 324.3mg/L, 421.6mg/L, 120.9mg/L로 조사되었다. 또한 T-N, T-P의 최대값도 주거지역인 Seogwipo-1지점에서 각각 51.20mg/L, 5.13mg/L로 조사되었으며, Seogwipo-1지점인 경우 SS항목을 제외한 전 항목에서 최대값을 나타내었다. 조사지점 중 농도가 가장 낮은 주거 및 상업 혼합지역인 Seogwipo-2지

점에서의 BOD, COD_{Cr}, SS, COD_{Mn}, T-N 그리고 T-P의 최소값은 각각 61.7mg/L, 131.4mg/L, 24.6mg/L, 32.9mg/L, 21.05mg/L, 2.42mg/L로 조사되었다. 관광지역인 Seogwipo-3지점에서의 BOD, COD_{Cr}, SS, COD_{Mn}, T-N 그리고 T-P의 평균농도는 각각 84.3mg/L, 206.9mg/L, 107.5mg/L, 58.9mg/L, 38.56mg/L, 3.56mg/L로 조사되었다. 주거지역인 Seogwipo-1지점과 관광지역인 Seogwipo-3지점의 각 항목별 평균농도를 비교하여 보면 SS항목을 제외하고 주거지역인 Seogwipo-1지점 최저 1.1배에서 최고 2.8배 가량 높은 농도를 보였다. 그리고 Seogwipo-2지점인 경우 유량패턴과 유사하게 최고 값과 최소값이 변동 폭이 큰 것으로 나타났으며, 이는 해당지역의 주간 및 야간에 활성도에 따라 하수량 및 수질농도가 변화하고 있음을 반영하고 있다⁸⁾.

서귀포시 자료에 의하면 동부하수처리장인 경우 BOD, COD_{Mn}, SS, T-N 그리고 T-P의 유입 평균농도는 각각 116.0mg/L, 68.1mg/L, 96.8mg/L, 33.0mg/L 그리고 3.5mg/L의 수질 농도를 보였으며, 서부하수처리장인 경우 BOD, COD_{Mn}, SS, T-N 그리고 T-P의 유입 평균농도는 각각 114.4mg/L, 50.5mg/L,

Table 3. Maximun, minimum and average Concentration of water quality for landuse types(Unit : mg/L)

Station	Item	BOD	COD _{Cr}	SS	COD _{Mn}	T-N	T-P	Landuse types
Seogwipo-1	Max.	324.3	421.6	148.2	120.9	51.20	5.13	Residential
	Min.	147.3	231.9	68.2	58.1	38.71	3.19	
	Ave.	236.4	313.4	104.9	84.8	44.93	3.93	
Seogwipo-2	Max.	126.9	185.1	51.3	57.8	36.97	3.31	Residential, Commercial
	Min.	61.7	131.4	24.6	32.9	21.05	2.24	
	Ave.	86.8	147.4	38.1	42.6	26.38	2.70	
Seogwipo-3	Max.	110.1	284.9	148.8	67.5	44.97	4.38	Touristy
	Min.	67.4	149.1	78.0	45.7	31.52	3.00	
	Ave.	84.3	206.9	107.5	58.9	38.56	3.56	

제주도 서귀포시지역의 용도지역별 하수발생량 특성에 관한 연구

87.6mg/L, 27.4mg/L 그리고 2.45mg/L의 수질 농도를 보였다⁴⁾. 동부하수처리장으로 유입되는 Seogwipo-1지점의 수질 농도는 하수처리장으로 유입되는 평균농도보다 높았으나, Seogwipo-2지점인 경우 평균농도보다 낮은 농도를 보였다. 그리고 서부하수처리장으로 유입되는 Seogwipo-3지점의 수질 농도는 BOD, CODMn인 경우는 하수처리장으로 유입되는 평균농도보다 높았으나, SS, T-N, T-P인 경우 비슷한 농도 분포를 보였다. 조사지점별로 다소 차이를 보이는 이유는 용도지역별 차이와 하수관거 형

태가 다르기 때문으로 사료된다.

Seogwipo-1지점인 경우 하수종말처리장 유입수의 BOD 설계 기준인 150mg/L보다 높게 나타났다. 이러한 특성은 환경처의 하수발생량저감에 대한 연구에 따르면 안양시에서 4월에 조사한 결과 BOD는 106~296mg/L범위로 평균 186mg/L의 값을 나타내었으며⁹⁾, 또한 양양군인 경우도 하수종말 처리장으로 유입되는 하수의 BOD는 134~292mg/L의 범위를 보인다고 하였다¹⁰⁾. 또한 충청북도보건환경연구원의 하수종말처리장 수질관리 실태 조사 결과에

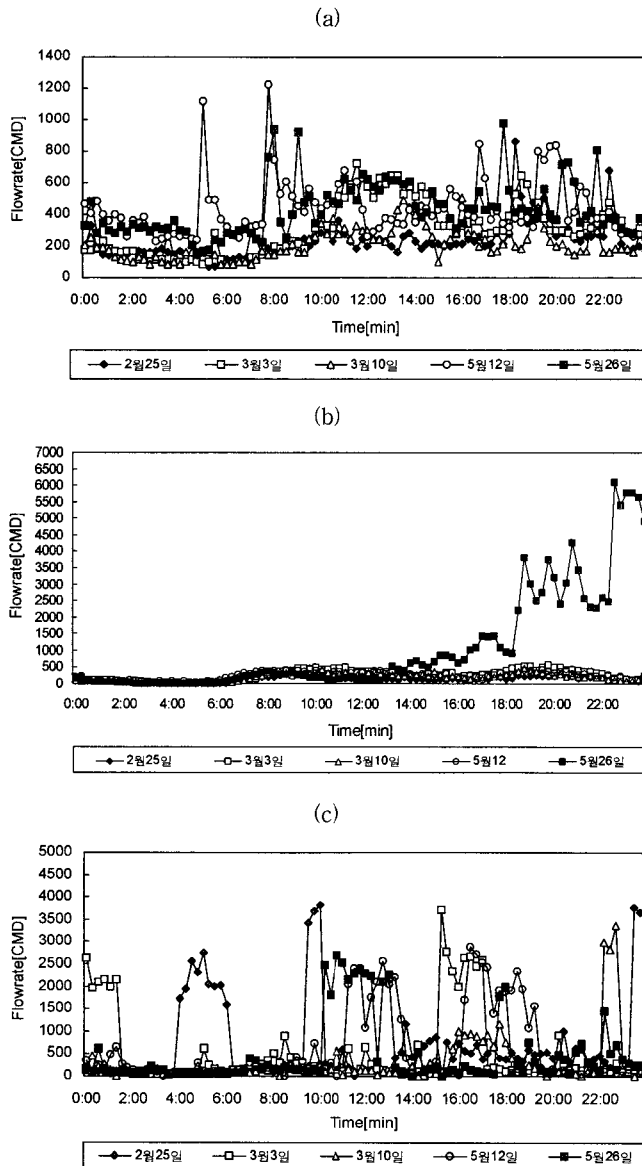


Fig. 5. Monthly variation of wastewater flowrate for landuse types. (a) Residential, (b) Residential and Commercial, (c) Touristy.

따르면 옥천군인 경우 계절별 BOD 농도는 4월인 봄철이 가장 높았으며, 유입수의 BOD 농도는 247.8 mg/L로 조사되었다¹¹⁾. BOD 농도가 다른 지역보다 높은 이유는 Seogwipo-1지점인 경우 주거지역이며, 관광농원 등이 산재되어 있으며, 방류되는 하수에는 주방에서 배출되는 음식찌꺼기가 많고 생활쓰레기의 분리수거로 주민들이 배변후 사용한 휴지를 따로 모아 처리하지 않고 변기에 직접 투기하는 것이 주요한 원인으로 사료된다.

3.1.3. 비강우시 월별 하수 발생 특성

Fig. 5는 비강우시 월별 용도지역별 하수발생량 특성을 파악하기 위하여 시간대별 하수발생량의 변화를 나타낸 것이다. Fig. 5(a)는 주거 지역인 Seogwipo-1지점으로 월별 하수발생량을 보면 2, 3월 보다는 5월에 높은 하수발생량을 보이고 있으며, 전형적인 계절적 영향을 보이고 있다. Fig. 5(b)는 주거 및 상업 혼합지역으로 Seogwipo-2지점의 월별 하수발생량 값을 나타낸 것으로 보면 2, 3월 보다는 5월에 높은 하수발생량을 보이고 있다. 하지만 주거지역인 Seogwipo-1지점과는 시간대별 최대피크가 다른 형태를 나타내고 있으며, 이는 오후에 상업지역이 활성화되어 오후의 피크 유량이 오전보다 더 높게 나타난 것으로 사료된다. Fig. 5(c)는 중문 관광단지인 Seogwipo-3지점의 월별 하수발생량을 나타낸 것으로 주거지역이나 주거 및 상업 혼합지역과는 다른 형태를 보이고 있다. 또한 월별 시간별 피크가 자주 발생하는 것은 제주도 관광시즌이 시작되는 2월경부터 관광단지내의 유동인구의 변화, 관광단지내의 영업장에서 일시에 하수를 방류함으로써 수시로 피크가 발생하는 것으로 추정된다.

3.2. 강우시 용도지역별 하수 발생 특성 및 수질 변화

조사기간내 3월 21일(총강우량 230mm), 5월 14일(총강우량 590mm) 등 강우시 2회에 걸쳐 조사 지점 6개에 대하여 유량 및 수질조사를 수행하였다. Seogwipo-1, 2지점은 합류식 하수배제 방식으로 우·오수를 합류관을 통하여 강우 유출수가 유입되는 지점이고, Seogwipo-3지점은 분류식으로 강우시 오수관을 통한 우수 유입수가 유입되는 지점이다. Table 4에는 조사 기간내의 2시간별 강우량을

나타내었다. 표에서 보듯이 3월에는 00:00부터 06:00 사이에 강우 밀집되어 있으며, 5월에는 14:00 부터 24:00사이에 강우량이 대부분을 차지하고 있다.

강우시 3월과 5월에 2회 채수하여 6개 항목에 대하여 분석한 수질 농도 결과를 최대, 최소, 평균값으로 하여 Table 5나타내었다. 수질 농도의 변화는 강우량에 따라 상당한 차이를 보이고 있다. 3월인 경우 수질분석 항목별 BOD, COD_{Cr}, SS 그리고 T-N의 최대값은 주거지역인 Seogwipo-1지점에서 각각 345.0mg/L, 412.5mg/L, 310.0mg/L, 45.04mg/L로 조사되었다. 그리고 COD_{Mn}, T-P의 최대값은 관광지역인 Seogwipo-3지점에서 각각 170.0mg/L, 5.95mg/L로 조사되었다. 5월인 경우 BOD, COD_{Cr}, SS의 최대값은 주거지역인 Seogwipo-1지점에서 각각 288.0mg/L, 475.6mg/L, 143.0mg/L로 조사되었으며, COD_{Mn}, T-N, T-P의 최대값은 관광지역인 Seogwipo-3지점에서 각각 104.4mg/L, 57.41mg/L, 3.65mg/L로 조사되었다. Seogwipo-1지점인 경우 강우시 BOD, SS, COD_{Cr} 항목에 대하여 최대값을 보였으며, COD_{Mn}, T-P의 최대값은 관광지역인 Seogwipo-3지점에서 최대값을 나타내어 강우에 따른 수질 농도의 변화는 유사한 경향을 보였다. 조사 지점 중 BOD, SS, COD_{Mn} 농도가 최소값을 나타내는 시기는 5월에 주거 및 상업 혼합지역인 Seogwipo-2 지점에서 각각 20.1mg/L, 9.34mg/L, 5.5mg/L로 조사되었다. 그리고 COD_{Cr}, 최소값은 Seogwipo-3지점에서 3월에 72.3mg/L로 나타났으며, T-N, T-P의 최소값은 Seogwipo-1지점에서 5월에 각각 7.48mg/L, 0.39mg/L로 조사되었다. 주거지역인 Seogwipo-1지점과 관광지역인 Seogwipo-3지점의 각 항목별 평균농도를 비교하여 보면 BOD, COD_{Cr}, SS항목은 Seogwipo-1지점에서 높게 나타났으나, 타 항목에 대해서는 낮은 농도를 보였다.

비강우시의 수질 특성(Table 3)과 강우시의 수질 특성을 비교하여 보면 초기 강우시 오염물질 농도가 비강우시에 비하여 높게 나타나는 경향을 보이고 있는데 이는 강우시 지표유출수는 노면에 퇴적되어 있는 많은 오염물질을 씻어 내리게 됨으로 초기강우 유출수는 하수도다 오히려 오염도가 높게 나타나고, 그리고 하수관로와 맨홀에 퇴적되어있는 오염물질을 단시간내에 유출시키는 초기세척 현상을

Table 4. Rainfall data with time in Seogwipo-city (unit : mm/hr)

Time	00:00-02:00	02:00-04:00	04:00-06:00	06:00-08:00	08:00-10:00	10:00-12:00	12:00-14:00	14:00-16:00	16:00-18:00	18:00-20:00	20:00-22:00	22:00-24:00
2002/03/21	115	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	15
2002/05/14	-	-	-	-	-	1	4	25	60	130	150	220

제주도 서귀포시지역의 용도지역별 하수발생량 특성에 관한 연구

Table 5. Maximun, minimun and average Concentration of water quality for landuse types(Unit : mg/L)

Station	Time	Item	BOD	COD _{Cr}	SS	COD _{Mn}	T-N	T-P	Landuse types
Seogwipo-1	2002/3/21	Max.	345.0	412.5	310.0	103.4	45.04	4.68	Residential
		Min.	152.0	189.6	63.2	51.9	14.23	0.99	
		Ave.	221.5	280.9	108.1	77.4	30.12	3.01	
	2002/5/14	Max.	288.0	475.6	143.0	58.9	30.63	2.70	
		Min.	32.5	93.2	29.0	12.7	7.48	0.39	
		Ave.	89.3	203.5	61.1	34.2	15.97	1.26	
Seogwipo-2	2002/3/21	Max.	133.9	213.2	82.0	100.3	33.32	3.78	Residential, Commercial
		Min.	82.0	124.3	40.5	50.0	21.69	1.41	
		Ave.	103.9	164.8	51.7	66.9	28.52	2.85	
	2002/5/14	Max.	137.4	345.2	41.2	38.5	32.15	2.75	
		Min.	20.1	85.3	9.3	5.5	10.25	0.98	
		Ave.	74.6	175.7	20.0	21.7	19.46	1.89	
Seogwipo-3	2002/3/21	Max.	252.3	342.3	260.0	170.0	68.23	5.95	Touristy
		Min.	26.0	72.3	28.0	14.5	20.24	2.12	
		Ave.	93.5	147.0	71.1	57.7	31.75	3.14	
	2002/5/14	Max.	149.2	178.2	62.5	104.4	57.41	3.65	
		Min.	23.6	78.3	23.1	45.6	17.75	2.37	
		Ave.	68.3	126.0	37.6	79.3	33.13	3.06	

통반하기 때문에 농도가 높은 것으로 사료된다^{7,12)}. 그러므로 점오염원 뿐만 아니라 합류식 하수관 월류수와 같은 비점오염원까지 고려한 하수도 정책이 요구된다.

3.2.1. 강우시 주거지역의 하수 발생 특성 및 수질 변화

Fig. 6에는 강우시 합류식 하수관거 지역으로 주거지역인 Seogwipo-1지점의 유량 및 수질농도 변화 추이를 나타내었다. 1차 강우시(3월 21일)의 총강우량은 230mm/hr이었으며, 최대강우강도는 02시경으로 115mm/hr이었다. 그리고 2차 강우시(5월 14일)의 총강우량은 590mm/hr이었으며, 최대강우강도는 23시경으로 120mm/hr이었다. Seogwipo-1지점인 경우 1차 강우시 02시경부터 하수량이 증가하여 03시 30분경 4,832m³/d로 최대 유량을 보였으며, 그 후 점점 감소하는 경향을 나타내었다. 2차 강우시 16시부터 점점 증가하여 23시 30분경 10,503m³/d로 최대 유량을 보였다. 이 지점에서의 유량변화는 강우 유출에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 비강우시 최대 유량 504.8m³/d로 강우시의 최대 유량과 비교하였을 때 비강우시의 20배 이상에 해당하는 유량이다. 3월인 경우 BOD, COD_{Cr}의 최대 농도는 각각 345.0mg/L, 412.5mg/L를 보였으며, 5월인 경우

BOD, COD_{Cr}의 최대 농도는 각각 288.0mg/L, 475.6mg/L를 보였다. 일반적으로 유량이 상승하는 시간대에 수질 농도가 상승하는 것으로 나타났으며, 큰 유량이 지나간 후에 강우에 의한 희석 효과로 인하여 수질 농도가 회복하는 경향¹²⁾을 나타내었다. 그리고 본 연구는 강우시 2회에 걸쳐 조사된 것으로 보다 정확한 하수량 및 수질 특성을 예측하기 위해서는 추후 계절별로 연구조사가 이루어져야 한다고 사료된다.

3.2.2. 강우시 주거·상업 복합지역의 하수 발생 특성 및 수질 변화

Fig. 7에는 주거 및 상업 혼합지역 Seogwipo-2 지점의 유량과 수질 농도의 변화를 나타내었다. Seogwipo-2지점인 경우 1차 강우시 01시 30분경부터 유량이 점점 증가하여 02시 30분경 5,521m³/d로 최대 유량을 보였으며, 05시 이후부터 점점 감소하는 경향을 나타내었다. 2차 강우시 16시부터 증가하기 시작하여 22시 30분경 6,108m³/d로 최대 유량을 보였으며, 그 후 감소하는 패턴을 보였다. 이 지점에서의 유량변화는 강우 유출에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 비강우시 최대 유량 1,346.5m³/d로 강우시의 최대 유량과 비교하였을 때 비강우시의 4.5 배 정도에 해당하는 유량이다. 비강우시와 강우시의

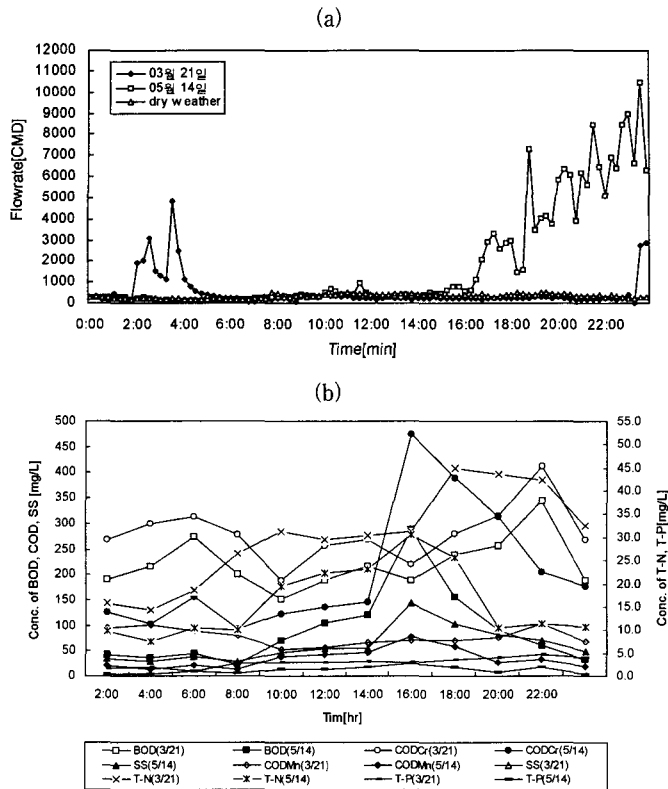


Fig. 6. Temporal variation of wastewater flowrate and water quality concentration in combined sewer overflow during wet weather periods.

유량변화가 Seogwipo-1보다 작고 Seogwipo-3지점보다는 다소 큰 이유는 대부분이 합류식 지역으로 되어있으나 일부분 분류식이 혼재되어 있어 합류식 하수관거 지역인 Seogwipo-1지점보다는 작고, 분류식으로 되어 있는 Seogwipo-3지점보다는 유량변화가 다소 큰 것으로 사료된다.

3월인 경우 BOD, COD_{Cr}의 최대 농도는 각각 133.9mg/L, 213.2mg/L, 5월인 경우 BOD, COD_{Cr}의 최대 농도는 각각 137.4mg/L, 345.2mg/L를 보였다.

3.2.3. 강우시 관광단지 지역의 하수 발생 특성 및 수질 변화

Fig. 8에는 중문관광단지 지역인 Seogwipo-3지점의 유량과 수질 농도의 변화를 나타내었다. Seogwipo-3지점인 경우 3월인 경우 14시경 2,255m³/d로 최대 유량을 보였으며, 5월인 경우 17시 30분경 3,825m³/d로 최대 유량을 보였다. 강우시 Seogwipo-1, 2 지점과는 다른 형태의 하수발생 특성을 보이고 있으며, 이는 Seowipo-3지점인 경우 분류식 하수관거 형태로 되어 있기 때문에 강우유출과 하수발생량과의 관계가 적은 것으로 사료된다. 비강우시 최대 유량 1,425.2m³/d로 강우시의 최대 유

량과 비교하였을 때 비강우시의 2.7배 정도에 해당 하는 유량이다. 비강우시와 강우시의 유량변화가 Seogwipo-1, 2지점보다 작게 나타났으며 이 지역은 관광지구로서 유동인구가 많은 지역으로 시간별 피크가 자주 발생하는 것은 관광단지내의 영업장에서 일시에 하수를 방류함으로써 수시로 피크가 발생하는 것으로 추정된다. 3월인 경우 BOD, COD_{Cr}의 최대 농도는 각각 252.0mg/L, 342.2mg/L를 보였으며, 5월인 경우 BOD, COD_{Cr}의 최대 농도는 각각 149.2mg/L, 178.2mg/L를 보였다. 하지만 강우시 BOD, COD_{Cr}의 수질 농도의 평균값은 각각 101.2mg/L, 97.2mg/L로 비강우시의 BOD, COD_{Cr} 농도의 평균값 118.6mg/L, 180.1mg/L보다 상대적으로 낮았다. 이는 비강우시 대비 강우시 유량이 2.7배 정도 크므로 인하여 희석효과가 수질농도에 영향을 미치는 것으로 사료된다¹³⁾.

4. 결 론

본 연구에서는 서귀포시지역을 대상으로 용도지역별 주거, 주거 및 상업혼합 지역, 관광지역으로 세분화하여 비강우시, 강우시 시간적, 공간적 하수발

제주도 서귀포시지역의 용도지역별 하수발생량 특성에 관한 연구

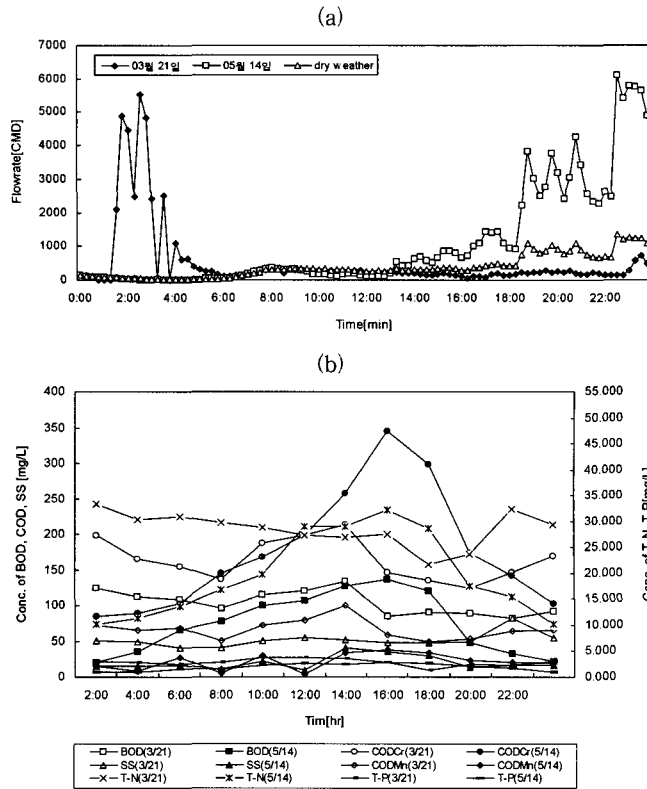


Fig. 7. Temporal variation of wastewater flowrate and water quality concentration in combined sewer overflow during wet weather periods.

생 특성 및 수질농도를 조사하였으며 도출될 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 주거지역은 일일 평균하수발생량 조사결과에 의하면 최고 유량은 아침, 점심, 저녁 시간대에 3회의 피크가 발생하였으나, 그 후 감소하는 것으로 조사되었다. 수질농도는 하수의 피크 유량이 발생하였을 때 상대적으로 높았고, 최저유량이 발생하는 새벽시간대에 가장 낮은 농도를 나타내었다. 주거 및 상업 지역이 혼재되어 있는 지역은 새벽을 제외하고 출근 시간부터 증가하기 시작하여 오후 10시 30분경에 하수량이 최대 피크를 보였으며, 변동 폭이 크게 변하는 양상을 보였다. 그러나 관광단지인 경우 유동인구의 활성화도가 높아지는 오전 11시 이후부터 하수량이 증가하다가 감소하여 오후 4시 30분경에 최대 피크를 보였으며, 하수 발생량의 변화가 다른 지역보다 크게 나타났다.
- 2) 하수발생 변동량을 보면 주거지역은 최소유량비가 평균 0.473, 최대유량비가 1.552로서 하수량의 변동폭이 주거 및 상업 혼합지역과 관광지역에 비하여 작은 것으로 나타났다. 주거 및 혼합지역인 경우 Seogwipo-2지점이 최소 유량비 0.064, 최대 유량비 3.423으로 하수량 변동폭이 가장 큰 것으로 조사되었다. 또한 관광지역인 경우 최소 유량비 0.092, 최대 유량비 2.786으로 하수량 변동폭을 보였다. 비강우시 월별 용도지역별 하수발생량 특성을 파악한 결과 관광지역을 제외한 전 지역에서 2, 3월 보다는 5월에 높은 하수발생량을 보였다. 그러나 중문관광단지인 Seogwipo-3지점의 월별 하수발생량을 주거지역이나 주거 및 상업 혼합지역과는 다른 형태를 보였으며, 월별 시간별 피크가 자주 발생하는 것은 제주도 관광시즌이 시작되는 2월경부터 관광단지내의 유동인구의 변화, 관광단지내의 영업장에서 일시에 하수를 방류함으로써 수시로 피크가 발생하는 것으로 추정된다.
- 3) 강우시 하수량 및 수질 변화를 추이는 다소 차이가 있지만 초기 세척 현상(First Flush)에 의해 비강우시의 하수 농도에 비교하여 높은 농도를 보였으며, 이후 지속되는 강우에 의해 오염물질의 농도가 감소하여 강우 종료 후 시간이 경과함에 따라 우수의 잔류유입수와 하수와의 희석 현

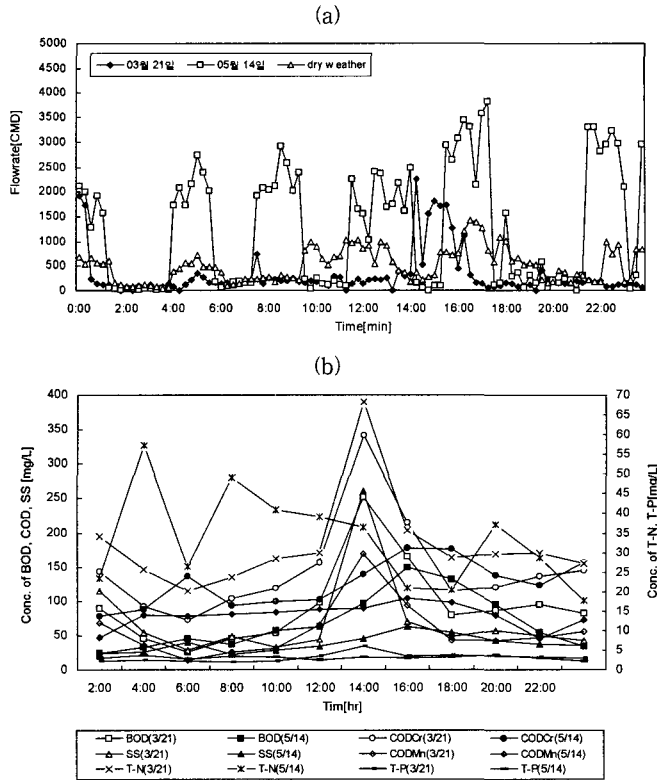


Fig. 8. Temporal variation of wastewater flowrate and water quality concentration in separated sewer overflow during wet weather periods.

상으로 비강우시보다는 오염물질의 농도가 낮아지는 경향을 보이는 것으로 조사되었다.

참 고 문 헌

- 1) 강동우, 2003, 제주도 하수관거의 I/I 및 누수량 분석, 제주대학교 석사학위논문, 1-2pp.
- 2) 황병기, 2003, 가평군 처리구역별 하수발생특성 분석, 상하수도학회지, 17(1), 103-112.
- 3) 제주도, 2002, 환경백서, 147-149pp.
- 4) 서귀포시, 2003, <http://www.seogwipo.go.kr>.
- 5) 삼한건설기술공사, 2001, 서귀포시 하수관거정비 타당성 조사 용역 I/I 및 초기강우오염도 조사 계획서.
- 6) Leonore S. C., E. G. Arnold and D. E. Andrew, 1998, Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater, 20th Edition, APHA AWW WEF, 2-53/5-17pp.
- 7) 서규우, 허준행, 조원철, 1997, 도시화에 따른 도시구역 배수계통의 유출영향 분석에 관한 연구, 대한상하수도학회지, 11(4), 80-90.
- 8) 이종각, 방기웅, 이준호, 1996, 합류식하수관의 오염물질 유출 특성에 관한 연구, 대한환경공학회지, 18(10), 1147-1160.
- 9) 환경처, 1994, 하수발생량 절감 방안에 관한 연구(생활하수를 중심으로), 72-73pp.
- 10) 고평백, 1998, 안양군 양양읍 하수도 정비계획 변경 및 양양하수종말처리장 기본 및 실시설계수질조사 및 모형실험(<http://suny.yonsei.ac.kr>).
- 11) 유권걸, 1999, 도내하수종말처리장 수질관리 실태조사, 충청북도보건환경연구원보(<http://here.cb21.net>).
- 12) 정재기, 조광명, 김낙생, 1986, 가정오수의 오염부하량 원단위에 관한 연구, 대한환경공학회지, 8(2), 55-63.
- 13) 윤현식, 신용배, 이영대, 이두진, 2001, 빗물배수 펌프장 저류조를 이용한 합류식 하수관거 월류수(CSOs) 오염부하 삭감 산정, 대한토목공학회지, 21(6), 735-744.