



흑천의 유량조건별 오염부하량 특성

Pollutant Load Characterization with Flow Conditions in Heukcheon Stream

최경완·이상원·노창완·이재관·이영준*

Kyungwan Choi·Sangwon Lee·Changwan Noh·Jaekwan Lee·Youngjoon Lee*

국립환경과학원 한강물환경연구소

Han-River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Yangpyeong, Korea

pp. 543-550

pp. 551-557

pp. 559-564

pp. 565-573

pp. 575-581

pp. 583-590

ABSTRACT

The TMDL (Total Maximum Daily Load) has been used to determine the water quality target. LDC (Load Duration Curve) based on hydrology has been used to support water quality assessments and development of TMDL. Also FDC (Flow Duration Curve) analysis can be used as a general indicator of hydrologic condition. The LDC is developed by multiplying FDC with the numeric water quality target of the factor for the pollutant of concern. Therefore, this study was to create LDC using the stream flow data and numeric water quality target of BOD and T-P in order to evaluate the pollutant load characterization by flow conditions in Heukcheon stream. When it is to be a high-flows condition, BOD and T-P are necessary to manage. BOD and T-P did not satisfy the numeric water quality target for both seasons (spring and summer). In order to meet the numeric water quality target in Heukcheon stream, management of non point source pollutant is much more important than that of point source pollutant control.

Key words: TMDL, numeric water quality target, LDC, FDC, Heukcheon stream

주제어: 수질오염총량제, 목표수질, 부하지속곡선, 유량지속곡선, 흑천

1. 서 론

흑천은 경기도 양평군 청운면 도원리 성지봉에서 발원하여 경기도 양평군 개군면 양덕리에서 남한강으로 유입되는 지방하천이다. 유역면적 314.02 km², 총유로 37 km 이며, 남한강과 합류하기까지 양평군 양평읍 및 6개 면을 관통하며, 삼성천등 총 14개의 지류로 구성되어있다. 흑천 주변 지역은 해발고도 1,000 m 가 넘는 용문산(1,157 m)이 위치하고 있으며, 북쪽으로는 북한강의 큰 지류인 홍천강이 북한강 본류인 청평호로 흘러 들어가고, 남쪽으로는 흑천이 남한강으로 흘러들어간다. 지형적으로 흑천은 산림이 73.92 %

(환경부 1:25,000 중분류 토지피복도)로 가장 크며, 농경지가 7.17 %로 조사되었다. 하상은 주로 모래 섞인 자갈질로 이루어져 있고, 상류부는 자갈, 호박돌 및 암반으로 구성되어 있다(Kim, 2010).

환경부는 하천의 수질 및 유역 관리를 위해 2004년부터 2010년까지 1단계 수질오염총량제도를 수행하였다. 본 제도의 평가방법으로 연구된 부하지속곡선(Load Duration Curve, LDC)은 미국의 많은 주에서 평균 유량과 같은 특정 유량 조건이 아닌 모든 유량 조건에서 적절한 수질 기준을 고려하여 오염물질의 문제를 특성화 하고 이행하기 위하여 이용되고 있다. 또한 부하지속곡선(LDC)은 TMDL(Total Maximum Daily Load) 설정 기법, 데이터 분석 기법, 유량 규모별 점오염원 및 비점오염원 부하량 관리 기법으로 적용되고 있다(Park, 2010).

Received 16 June 2015; Revised 24 September 2015; Accepted 30 September 2015

*Corresponding author: Young Joon Lee (E-mail: 8djoon@hanmail.net)

본 연구의 대상유역은 흑천 발원지로부터 한강 합류점 전까지 이고, 수질 및 유량 조사지점은 환경부 한강수계 수질오염총량관리 지점인 흑천A 지점으로 이러한 조사대상 유역구간의 목표수질(한강수계 경기도 관할 수계구간별 목표수질 고시. 2013. 6.)은 BOD 0.8 mg/L, T-P 0.025 mg/L로 설정되어 있으며, 한강수계도 2013년 6월부터 수질오염총량제를 시행함에 따라 한강수계 수질오염총량제 대상 지점중 하나인 흑천의 2011년에서 2013년까지 3년간의 유량자료와 목표수질을 이용하여 부하지속곡선(LDC)을 작성하고 그것을 활용하여 흑천의 유량조건에 따른 기준부하량 평가 방법을 유량조건별 분석 및 계절별 유량 변화에 대한 특성을 파악하여 수질오염총량제의 목표수질 달성에 활용하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 유역 평균 강수량 환산

유역의 유출특성은 지질, 지리 및 강수 등 기상조건에 의하여 결정되고 이 중에서 주된 역할을 하는 것은 강수량에 의한다.

본 연구에서는 연구대상 흑천 유역을 대상으로 점 강수량 분석이 아닌 면적평균 강수량 산정을 위하여 Thiessen의 가중법(weighting method)을 이용하였다. 이 방법은 전 유역면적에 대한 각 관측점의 지배 면적비를 가중인자(weighting factor)로 잡아 이를 각 강수량값에 곱하여 합산한 후 이 값을 유역 면적으로 나눔으로써 평균 강수량을 산정하는 방법이다. 이 방법을 식으로 표시하면 다음 식 (1)과 같다.

$$P_m = \frac{A_1P_1 + A_2P_2 + \dots + A_nP_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i P_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (1)$$

여기서 P_m 은 유역의 평균 강수량, P_1, \dots, P_n 은 유역 내 n 개 관측소에서 관측된 강수량, A_1, \dots, A_n 은 관측점의 지배면적이다(Min, 2014).

본 연구에서는 흑천 유역에 영향을 주는 강우자료를 활용하기 위하여 기상청 양평관측소와 홍천관측소의 강수량 자료를 이용하였으며, 양평의 지배면적은 242.05, 티센계수 0.77이며, 홍천의 지배면적은 72.05, 티센계수 0.23이다.

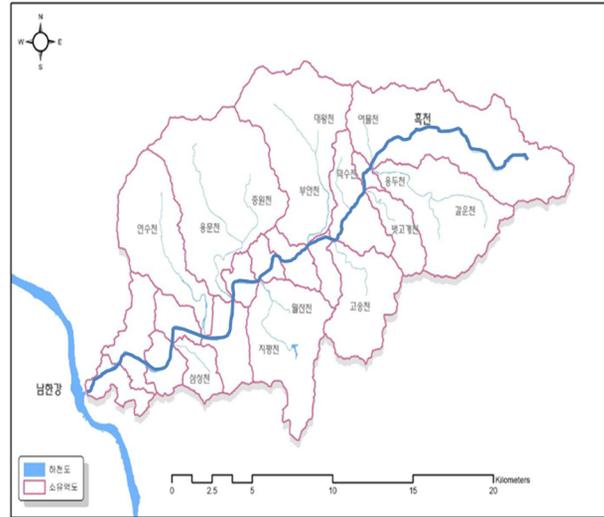


Fig 1. Map of Heukcheon stream watershed.

2.2 유량지속곡선 (Flow Duration Curve, FDC)

관측수위(h)와 유량(Q)과의 관계를 나타낸 곡선이 수위-유량 관계곡선(h-Q)이며, 이 수위-유량 관계곡선을 이용하여 연속적으로 측정되는 수위에서 유량을 산출 할 수 있다(NDEP, 2003).

한강홍수통제소 흑천교 수위관측소에서 제공하는 실시간 수위-유량자료를 이용하여 일유량을 산정한 후 하천의 유량지속곡선(Flow Duration Curve, FDC)을 작성하였다.

2.3 수질조사

흑천 지점에 대한 시료채취 및 수질분석은 수질오염총량관리 목표수질 측정망 운영계획에 근거하여 수질오염공정시험기준(환경부 고시 제2011-103호)과 APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (20th edition., 2005)에 따라 수행하였고, 한강수계 수질오염총량제 대상 항목인 BOD와 T-P 항목에 대하여 연 평균 8일 간격으로 조사를 실시하였으며, 매 회차 마다 정확도, 정밀도, 회수율 측정을 통한 정도관리로 실험의 정확성과 재현성을 평가하였다.

2.4 부하지속곡선(Load Duration Curve, LDC)

실시간 유량값을 이용하여 유량지속곡선(FDC)을 작성하고, 그 결과에 목표수질을 곱하여 기준부하지속곡선을 작성할 수 있다. 그리고 실측한 수질자료를



이용하여 실측한 결과에 대응하는 부하량을 부하지속곡선(LDC) 위에 도시함으로써 해당 유역의 목표수질 및 부하량 달성 여부에 대한 평가가 가능하게 된다 (Han et al., 2007).

Fig. 2는 목표수질에 대한 부하지속곡선(LDC)과 관측수질에 대한 부하량을 유량조건별 비교가 쉽게 나타낸 그래프로서, 관측부하량이 부하지속곡선(LDC) 위쪽에 표시되어 있는 경우는 해당 항목의 오염부하량, 즉 목표수질이 초과된 경우이며, 관측부하량이 부하지속곡선(LDC) 아래쪽에 표시되어 있는 경우는 해당 관측부하량이 목표수질을 만족한 경우를 의미한다.

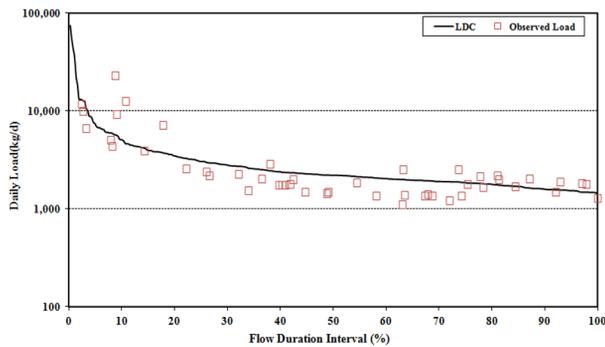


Fig. 2. Load duration curve.

유량 조건을 고려하여 점오염원 및 비점오염원에 의한 하천 오염의 특성을 파악하였다. 점오염원과 비점오염원의 유출 기준점은 전체 유량의 중간에 해당되는 평수량을 기준으로 하고 있으므로 Fig. 2의 저수량 이하의 유량범위에서 관측부하량이 부하지속곡선(LDC) 위쪽에 표시되어 있는 경우는 주로 점오염원에 의해 목표수질이 초과된 것이라 볼 수 있으며, 평수량 이상의 유량범위에서 관측부하량이 부하지속곡선(LDC) 위쪽에 표시되어 있는 경우는 주로 비점오염원에 의해 목표수질이 초과된 것이라 판단할 수 있다 (Han et al., 2007).

3. 연구 결과 및 고찰

3.1 유역 내 강우 현황 및 환산 강수량

흑천 유역에서 기상학적 특성 파악에 용이한 자료를 가지고 있는 기상관측소는 흥천관측소과 양평관측소 2개이다. 해당 관측소의 과거 10년간 평년강수량과 2011년 ~ 2013년도 각각의 강수량은 티센(Thiessen)

계수를 산정하여 유역 강수량 산정 후 연도별 강수량 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 평년과 2011년, 2013년에는 우리나라의 계절적 특성과 유사하게 7 ~ 8월에 강우가 집중 되었지만, 2012년에는 다른 연도에 비하여 강우 집중도가 떨어지고 평년에 비하여 강수량도 적었다.

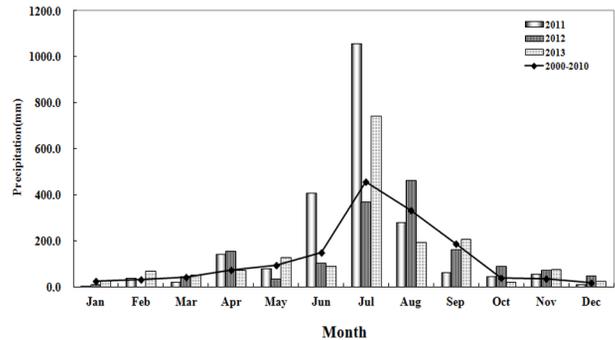


Fig. 3. Monthly precipitation by Thiessen's weighting method on the watershed.

3.2 유량지속곡선(FDC) 작성

조사 기간은 2011년~2013년으로 3년간의 한강홍수통제소 흑천교 수위관측소 실시간 수위 및 유량 자료를 이용하여 아래 Fig. 4와 같은 유량 지속곡선(FDC)을 작성하였고, 그 결과를 유량조건별로 나누어 흑천의 유출 특성을 파악하였다. 유량지속곡선(FDC) 유황구분은 유량조건별 분류 방법에 따라 누적 유량을 크기에 따라 0%~10%는 홍수량 조건(High-Flows), 10%~40%는 풍수량 조건(Moist-Conditions), 40%~60%는 평수량 조건(Mid-Range Conditions), 60%~90%는 저수량 조건(Dry-Conditions), 90%~100%는 갈수량 조건(Low Flows)으로 구분하여 분석하였다(Cleland, 2003, U.S. EPA., 2007).

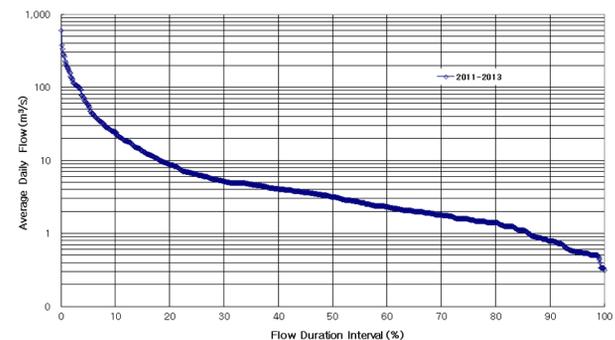


Fig. 4. Flow duration curve in Heukcheon stream.

pp. 543-550

pp. 551-557

pp. 559-564

pp. 565-573

pp. 575-581

pp. 583-590

Table 1. Classifications of hydrologic condition

Flow Duration Interval	Hydrologic Condition Class
0~10%	High-Flows
10~40%	Moist-Conditions
40~60%	Mid-Range Conditions
60~90%	Dry-Conditions
90~100%	Low Flows

Source : Cleland, 2003, U.S. EPA., 2007

3.3 부하지속곡선(LDC) 적용 및 고찰

3.3.1 유량조건별 분석

한강수계 경기도 관할 수계구간별 목표수질 설정 기준에 따라 흑천의 목표수질은 BOD 0.8 mg/L, T-P 0.025 mg/L로 설정하였다. 구축한 유량지속곡선(Fig. 4)에 목표수질을 적용하여 기준부하지속곡선을 작성하였으며, 유량조건별 분류방법(Table 1)에 따라 누적 유량을 구분하여 분석하였다(Cleland, 2003, U.S. EPA., 2007, Yoon et al., 2013).

관측수질자료를 유량조건별(홍수량 조건, 풍수량 조건, 평수량 조건, 저수량 조건, 갈수량 조건)로 분류하여 도식화한 결과는 Fig. 5와 같으며, 흑천의 유량조건별 BOD와 T-P 각각의 목표수질을 적용한 기준부하

량 평균값과 관측수질자료를 적용한 관측부하량 평균 값을 Table 2에 정리하였다(Hwang et al., 2011).

본 연구에서 부하지속곡선(LDC)을 분석한 결과 조사기간(2011년~2013년)동안 BOD의 기준부하량의 합은 934,047 kg으로 나타났으며, 일부하량으로 계산하면 평균 877 kg으로 조사되었다. 기준부하량의 합계를 유량조건별로 분석해보면 총부하량의 합계 대비 고유량 조건(661,903 kg)은 70%, 풍수량 조건(187,536 kg)은 21%로 나타나는데, 이는 흑천의 평상시 유량에 비하여 강수량이 집중되는 여름철에 연중 90% 이상 유량이 집중되는 것으로 조사되었다.

유량조건별로 BOD의 기준부하량과 관측부하량을 보면 고유량 조건시 기준부하량의 평균은 6,244 kg, 관측부하량의 평균은 17,300 kg으로 관측부하량이 기준부하량보다 약 2.8배 많은 것으로 조사되었다. 풍수량 조건시 기준부하량의 평균은 586 kg, 관측부하량 평균은 532 kg으로 기준부하량을 만족하는 수준으로 조사되었다. 평수량 조건시 기준부하량의 평균은 217 kg, 관측부하량의 평균은 248 kg으로 약 1.1배로 기준부하량과 거의 일치하는 수준으로 조사되었다. 저수량 조건시 기준부하량은 107 kg, 관측부하량은 129 kg으로 기준부하량을 약 1.2배 초과하는 것으로 조사되

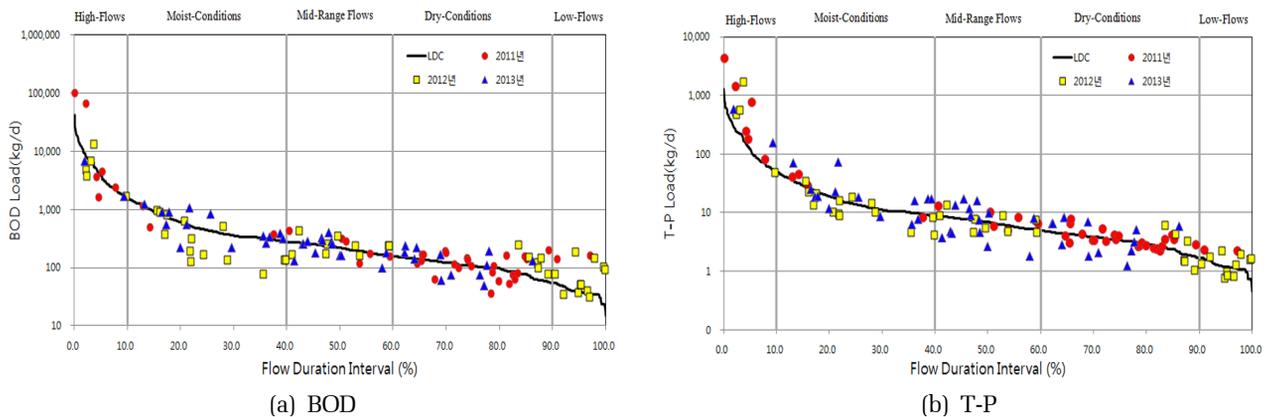


Fig. 5. Load duration curve in 2011 - 2013.

Table 2. The average pollutant loads by hydrologic conditions

Hydrologic Conditions	BOD (kg / day)		T-P (kg / day)	
	Water Quality Target Avg.	Measurement Avg.	Water Quality Target Avg.	Measurement Avg.
High Flows (0~10%)	6,244	17,300	195.1	858.5
Moist Conditions (10~40%)	586	532	18.3	20.7
Mid-Range Conditions (40~60%)	217	248	6.8	8.0
Dry Conditions (60~90%)	107	129	3.4	3.8
Low Flows (90~100%)	39	92	1.2	1.6



었다. 갈수량 조건시에는 기준부하량 39 kg, 관측부하량 92 kg으로 기준부하량을 약 2.4배 초과하는 것으로 나타났다. 전체 유량조건별로 비교해 보았을 때 유량이 가장 많은 고유량 조건과 가장 적은 갈수량 조건일 때 흑천의 관측부하량이 기준부하량을 초과하는 경우가 많았다.

T-P의 경우는 연간 기준부하량의 합은 29,189 kg이고, 일부하량으로 계산하면 27.4 kg으로 나타났다. 기준부하량과 관측부하량을 유량조건별로 보면 고유량 조건시 기준부하량의 평균은 195.1 kg, 관측부하량의 평균은 858.5 kg으로 관측부하량이 기준부하량보다 약 4.4배 많은 것으로 조사되었다. 풍수량 조건시 기준부하량의 평균은 18.3 kg, 관측부하량 평균은 20.7 kg, 평수량 조건시 기준부하량의 평균은 6.8 kg, 관측부하량의 평균은 8.0 kg, 저수량 조건시 기준부하량은 3.4 kg, 관측부하량은 3.8 kg, 갈수량 조건시에는 기준부하량 1.2 kg, 관측부하량 1.6 kg으로 유량이 가장 많은 고유량 조건을 제외하고는 기준부하량과 많은 차이가 없는 것으로 조사되었다.

점오염원과 비점오염원의 유출 기준점은 평수량 이상의 유량범위에서 관측부하량이 부하지속곡선(LDC) 위쪽에 표시되어 있는 경우 비점오염원에 의해 목표수질이 초과된 것이라 판단할 수 있다(Han et al., 2007).

US. EPA.(2007)는 각 유량 조건에 기준부하량을 초과한 경우 오염부하량 관리방안을 제시하였다. 즉 갈수량 및 저수량 조건에서 기준부하량을 초과하는 경우에는 환경기초시설 등 점오염원에 대한 관리가 필요하고, 평수량 및 풍수량 조건에서 기준부하량을 초과하는 경우는 수변림 조성 및 불투수 지역의 강우 유출수를 관리할 필요가 있다. 또한, 풍수량 및 홍수량 조건에서의 기준부하량을 초과하는 경우에는 농경지 유출수, 토양유실 등의 비점오염원 관리가 필요함을 제시하였다. 따라서, 본 연구의 대상지역인 흑천의 유량조건별 관측부하량의 특성 분석 결과 BOD, T-P

두 항목 모두 강우량이 집중되는 고유량 조건일 때 기준부하량을 초과하므로 비점오염원의 영향을 많이 받는 것으로 판단되어, 고유량 조건에서의 비점오염원에 따른 BOD와 T-P의 저감방법을 우선적으로 고려해야 할 것으로 판단되었다.

3.3.2 계절별 유량변화

부하지속곡선(LDC)에 관측부하량을 계절별 유량 변화에 따라 겨울(12월~2월), 봄(3월~5월), 여름(6월~8월), 가을(9월~11월)로 나누어서 관측부하량의 특성을 나타내었다(Hwang et al., 2010). 조사기간(2011년~2013년) 동안 총129회 실측정하였으며, 각각 측정횟수는 겨울 24회, 봄 36회, 여름 34회, 가을 35회를 실측정하였다. 기준부하량 대비 관측부하량의 초과빈도는 총 129회 실측정 중 BOD는 71회, T-P는 70회를 초과하였다. 계절별 유량 변화에 따라 분석한 결과 BOD는 겨울 6회, 봄 33회, 여름 24회, 가을 8회를 초과하였고, T-P는 겨울 7회, 봄 24회, 여름 29회, 가을 10회가 기준부하량을 초과하였다.

계절별 실측 자료의 수가 다르고 초과횟수만으로 초과정도를 판단하기에는 부족하기에 기준부하량 대비 관측부하량의 초과율을 분석한 결과 BOD는 평균 55.0%, T-P는 평균 54.3%가 기준부하량을 초과하였다. 계절별 유량 변화에 따라 분석한 결과 BOD의 관측부하량 초과율은 겨울 25%, 봄 91.7%, 여름 70.6%, 가을 22.9%로 나타났으며, 봄에 초과율이 91.7%로 가장 높았으며, 다음 여름이 70.6%로 봄과 여름에 기준부하량을 만족하는데 어려움이 있는 것으로 나타났다.

T-P의 경우 관측부하량 초과율은 겨울 29.2%, 봄 66.7%, 여름 85.3%, 가을 28.6%로 나타났으며, 여름에 초과율이 85.3 %로 가장 높았으며, 다음 봄에 66.7% 순으로 나타났다.

부하지속곡선(LDC)을 이용하여 목표수질 달성 여부를 결정하기 위해서는 달성과 미달성에 대한 기준

Table 3. The number of LDC exceeded and excess rate by seasonal conditions

Classification	Season	Winter	Spring	Summer	Autumn	Total
	Month	12 ~ 2	3 ~ 5	6 ~ 8	9 ~ 11	
	Number of Measurement	24	36	34	35	
BOD	Number of LDC Exceeded	6	33	24	8	71
	Percent of LDC Exceeded	25.0 %	91.7 %	70.6 %	22.9 %	55.0 %
T-P	Number of LDC Exceeded	7	24	29	10	70
	Percent of LDC Exceeded	29.2 %	66.7 %	85.3 %	28.6 %	54.3 %

pp. 543-550

pp. 551-557

pp. 559-564

pp. 565-573

pp. 575-581

pp. 583-590

이 필요한데, 기준부하량 초과율이 50%을 초과하면 미달성, 50% 이하이면 달성한 것으로 평가한다(Hwang et al., 2011). 이러한 평가기준으로 흑천을 살펴보면 BOD 와 T-P의 초과율은 각각 55.0%와 54.3%로 목표

수질을 미달성한 것으로 나타났다. 계절별로는 BOD 와 T-P 모두 가을과 겨울은 50% 미만으로 목표수질을 만족하지만 봄과 여름에는 50%를 초과하여 기준부하량을 만족하지 못했다.

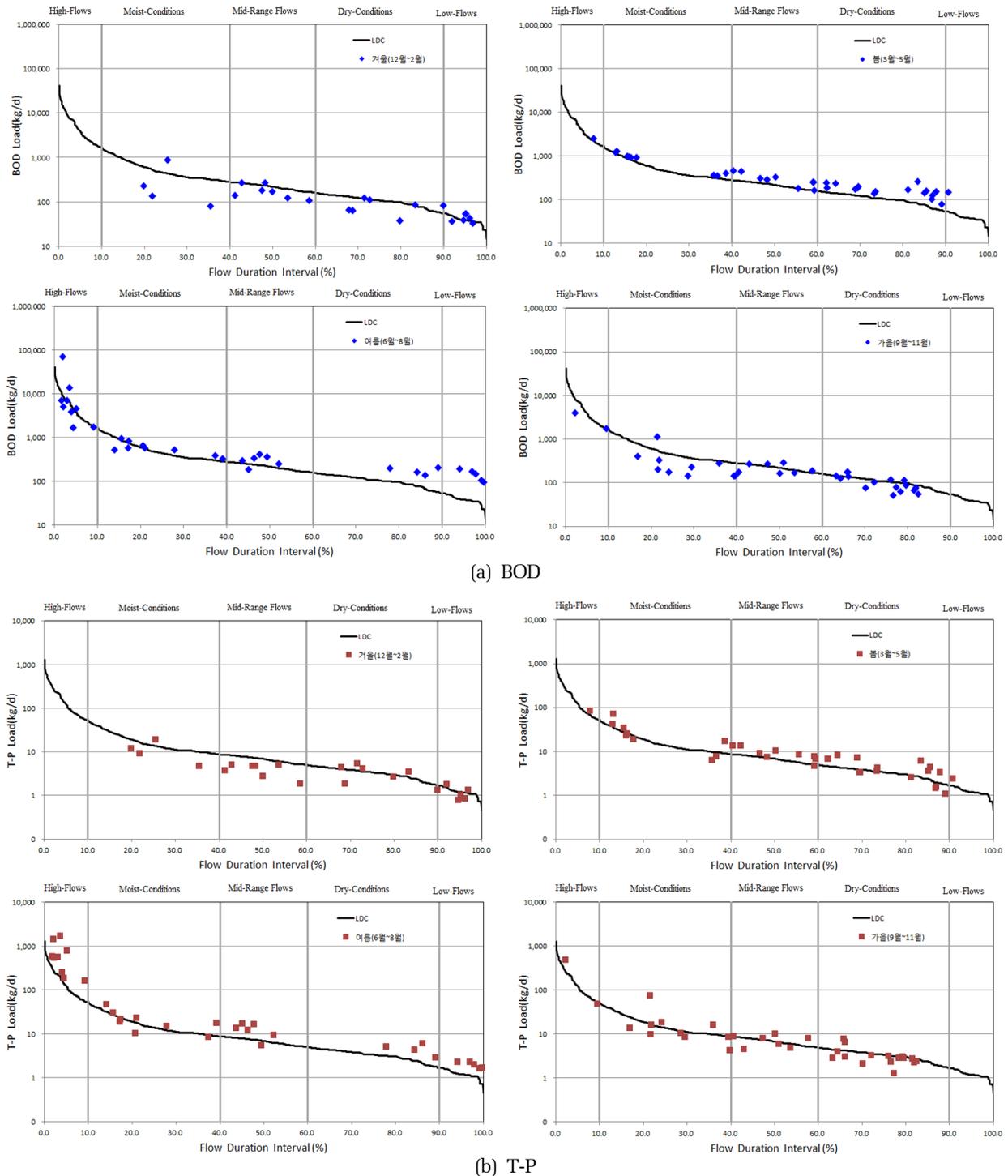


Fig. 6. Seasonal load duration curve



국내의 봄과 여름 기간은 유량적인 측면에서 풍수량 이상 조건에 해당하는 기간으로 봄에는 농업 활동에 의한 농경지로부터의 오염물질 유출과 여름에는 많은 강우로 인한 산림지역 및 농경지로부터의 토양 유실에 따른 오염물질이 흑천으로 유입되고 있으므로 흑천의 목표수질을 달성하기 위해서는 가을 및 겨울에 철저하게 유역 정비 등을 실시하여 봄과 여름에 오염원 유입에 대한 대책을 마련하여야 할 것으로 판단되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 한강수계 오염총량관리대상 지점인 흑천A 지점을 대상으로 2011년~2013년까지 유량변동에 따른 기준부하량 초과빈도와 계절에 따라 변화하는 오염부하량의 특성을 파악하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 흑천의 오염부하량은 강우가 집중되는 풍수량 조건 이상 일 때 전체 오염부하량의 90% 이상 유출되었다. 이는 흑천 유역은 비점오염원의 영향을 많이 받는 것으로 판단되었다.
- 2) 유량조건별 분류에 따른 오염부하량을 분석한 결과 흑천의 수질오염총량규제를 위해 설정한 목표수질을 달성하기 위해서 BOD는 고유량 조건 및 갈수량 조건일 때, T-P의 경우는 유출량이 가장 집중되는 고유량 조건 일 때에 대한 오염물질 저감이 필요한 것으로 조사되었다.
- 3) 계절별 유량 변화에 따른 오염부하량 분석 결과 BOD와 T-P 두 항목 모두 봄·여름(3월~8월)의 관측부하량은 가을·겨울(9월~2월)의 관측부하량보다 기준부하량을 초과하는 빈도율이 높게 나타났으며, 흑천의 목표수질을 달성하기 위해서는 가을 및 겨울에 철저하게 유역정비 등을 실시하여 봄과 여름에 오염원 유입에 대한 대책을 마련하여야 할 것으로 판단되었다.
- 4) 부하지속곡선(LDC)를 이용하여 유량조건별 분류 및 계절별 부하량 특성 분석을 실시하였고, 기준부하량과 관측부하량의 특성 분석은 수질오염총량제의 목표수질 달성에 대한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단되었다.

References

Cleland, B. R. (2003). TMDL Development from the “Bottom

Up”-Part III: Duration Curves and Wet-Weather Assessments. National TMDL Science and Policy 2003-WEF Specialty Conference, Chicago, IL.

Han River Flood Control Office. <http://www.hrfco.go.kr/>.

Han, S. H., Shin, H. S. and Kim, S. D. (2007). Applicability of Load Duration Curve to Nakdong River Watershed Management. *Journal of Korean Society on Water Quality*. 23(5), pp.620-627.

Hwang, H. S., Yoon, C. G. and Kim, J. T. (2010). Application Load Duration Curve for Evaluation of Impaired Watershed at TMDL Unit Watershed in Korea. *Journal of Korean Society on Water Quality*. 26(6), pp.903-909.

Hwang, H. S., Park, B. K., Kim, Y. S., Park, K. J., Cheon, S. U. and Lee, S. J. (2011) Research on the Applicability of the Load Duration Curve to Evaluate the Achievement of Target Water Quality in the Watershed for a TMDL. *Journal of Korean Society on Water Quality*. 27(6), pp.885-895.

Kim, K. B. (2010). Assessment of Climate Change Impact on Water Quality Simulation for the Basin of Heuk Stream, Master’s degree, Han-Kyung University.

Korea Meteorological Administration. <http://www.kma.go.kr/>. Ministry of Environment. (2007). Standard Method for Examination of Water.

Ministry of Environment. (2013). The Target Water Quality for Total Amount Management at Boundary Point in Kyunggido of Han-River Watershed.

Min, K. H. (2014). Rainfall Network Design in Nakdong River Watershed By Areal Rainfall Estimation Methods, Master’s degree, In-Ha University.

Nebraska Department of Environmental Quality Planning Unit(NDEQ), Water Quality Division (2004). Total Maximum Daily Loads for the Big Blue River Basin.

Nevada Division of Environmental Protection(NDEP), (2003). Load Duration Curve Methodology for Assessment and TMDL Development.

Park, J. H. (2010). A Study of Waterbody Health Diagnosis Method Master’s degree, Kyungpook University.

U.S. EPA. Office of Wetlands, Oceans and Watersheds. (2007). An Approach for Using Load Duration Curves in the Development of TMDLs.

Yoon, S. Y., Ryu, J. N. and Oh, J. I. (2013). Water Quality Management Measures for TMDL Unit Watershed Using Load Duration Curve, *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, 27(4), pp.429-438.

pp. 543-550

pp. 551-557

pp. 559-564

pp. 565-573

pp. 575-581

pp. 583-590