



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

제주도 우수하천의 수질특성과  
하천유역별 상관성 분석



濟州大學校 大學院

環境工學科

玄 凡 錫

2015 年 2月

# 제주도 우수하천의 수질특성과 하천유역별 상관성 분석

指導教授 趙 恩 一

玄 凡 錫

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2015 年 2 月



玄 凡 錫의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 甘 相 奎 印

委 員 金 鎮 瑾 印

委 員 趙 恩 一 印

濟州大學校 大學院

2015 年 2 月

# Analysis of the Correlation between the Characteristics of Water Quality of the Flowing Streams and River Basins in Jeju Island

Beom-Seok Hyun  
(Supervised by professor Eun-Il Cho)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree of Master of Engineering

2015 . 2

This thesis has been examined and approved.



Thesis director, Sang-Kyu Kam, Prof. of Environmental Engineeriog

Thesis director, Jin-Keun Kim, Prof. of Environmental Engineeriog

Thesis director, Eun-Il Cho, Prof. of Environmental Engineeriog

February. 2015

Department of Environmental Engineering

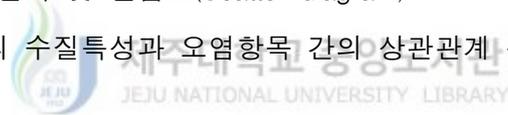
GRADUATE SCHOOL

JEJU NATIONAL UNIVERSITY

# 목 차

Abstract .....	V
I. 서론 .....	1
II. 이론적 배경 .....	3
1. 점오염원 .....	3
2. 비점오염원 .....	4
3. SPSS(Statistical Package for the Social Sciences) .....	7
III. 연구대상 및 방법 .....	8
1. 연구대상 지역 .....	8
2. 하천 현장조사 .....	14
3. 오염원 산정 .....	17
3.1. 점오염원 산정 .....	17
3.2. 비점오염원 산정 .....	18
4. SPSS를 이용한 상관관계 분석 .....	25
4.1. 상관관계 분석 .....	25
4.2. 상관관계 분석 목적 .....	26
III. 연구 결과 및 고찰 .....	27
1. 각 하천별 수질조사 .....	27
1.1. 수온 .....	27
1.2. 수소이온농도(pH) .....	30

1.3. 용존산소(DO) .....	31
1.4. 전기전도도(EC) .....	32
1.5. 총용존고형물(TDS) .....	33
1.6. 생물학적산소요구량(BOD) .....	34
1.7. 화학적산소요구량(COD) .....	35
1.8. 부유물질(SS) .....	36
1.9. 총인(T-P) .....	37
2. 오염원 산정 결과 .....	38
2.1. 점오염원 산정 결과 .....	38
2.2. 비점오염원 산정 결과 .....	47
2.3. 하천별 오염부하량 산정 .....	53
3. SPSS를 이용한 상관관계 분석 결과 .....	58
3.1. 상관성 분석 .....	58
3.2. 상관관계 분석 및 산점도(Scatter diagram) .....	63
3.3. 우수하천의 수질특성과 오염항목 간의 상관관계 분석 .....	70
<b>IV. 결 론 .....</b>	<b>71</b>
<b>참고문헌 .....</b>	<b>74</b>



## List of Table

Table 1. Comparison of non-point pollution sources and point pollution source	3
Table 2. Non-point source pollutants and major sources	4
Table 3. Non-point pollution source technology	5
Table 4. Effects by non-point pollution treatment facility	6
Table 5. Form of the streams	11
Table 6. Location of Stream in Jeju island	15
Table 7. Analytical Items and Methods	16
Table 8. Comparison of unit load methods	20
Table 9. Application Basic Unit of Non-Point Source	24
Table 10. The Results of Water Quality at Each Streams	29
Table 11. Velocity of Flow Each Streams	39
Table 12. The results of Discharge at Each Streams	39
Table 13. Point source pollution loads at Each Streams	45
Table 14. Land Use at Each Streams	51
Table 15. Point source and non-point source calculated sum of Each Streams	56
Table 16. The Results of Average Water Quality BOD at Each Streams	59
Table 17. The Results of Average Water Quality COD at Each Streams	60
Table 18. The Results of Average Water Quality SS at Each Streams	61
Table 19. The Results of Average Water Quality T-P at Each Streams	62
Table 20. Correlation result of at Each Streams	65

## List of Figures

Fig. 1. Location of Stream in Jeju Island. ....	8
Fig. 2. Location of Sampling Stream. ....	13
Fig. 3. HQ40d Dual-Input Digital Multi-Meter. ....	16
Fig. 4. The Annual Variations of pH at Each Streams in Jeju Island. ....	30
Fig. 5. The Annual Variations of DO at Each Streams in Jeju Island. ....	31
Fig. 6. The Annual Variations of BOD at Each Streams in Jeju Island. ....	34
Fig. 7. The Annual Variations of COD at Each Streams in Jeju Island. ....	35
Fig. 8. The Annual Variations of SS at Each Streams in Jeju Island. ....	36
Fig. 9. The Annual Variations of T-P at Each Streams in Jeju Island. ....	37
Fig. 10. Sectional View of Each Streams. ....	42
Fig. 11. Point source pollution loads graph at Each Streams. ....	46
Fig. 12. Non-Point source pollution loads graph at Each Streams. ....	52
Fig. 13. Point source and non-point source calculated sum graph of Each Streams. ....	57
Fig. 14. Scatter diagram graph of Yeonoicheon. ....	68
Fig. 15. Scatter diagram graph of Donghongcheon. ....	69

# Abstract

The purpose of this study is to analyse the correlation between the characteristics of the water quality of the flowing streams and water pollutants found in each river basin, to find the source of the generated pollutants, and to investigate them for each river basin by studying their point pollutants and non-point pollutants. The study was conducted with 12 flowing streams(3 in Jeju-si and 9 in Seogwipo-si) in total in Jeju Province through field investigation in May, August, October, and December respectively by season. As for specific investigation sites, the study was carried out in the lower streams of each river; in order to compute flow rate, flow velocity was measured at the same time. On the basis of this data, to evaluate the flow rate of each separate river, flow velocity was multiplied by a cross sectional area. To estimate point pollutant loads, flow rate was multiplied by water concentration. To evaluate non-point pollutants flowing from unspecified routes, the non-point pollutant unit, classified into six areas (like fields, forests, commercial areas, manufacturing areas, and roads) was multiplied by land-use area. Furthermore, using the statistical program SPSS(statistical package for social science), correlation analysis was implemented so as to see if there are correlations between variables of water pollutant items. The study verified pollutant trends by drawing a scatter diagram on an x-y axes. The findings are as follows.

As a result of checking the quality of water, the water temperature (°C) ranged from 8.1 to 29.8°C, hydrogen ion concentration(pH) 7.1 to 8.7, dissolved oxygen(DO) 7.0 to 14.9 mg/L, electrical conductivity( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) 48.8 to 552.7  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , Total Dissolved Solids(TDS) 23.0 to 245.3 mg/L, biochemical oxygen demand(BOD) 0.1 to 2.1 mg/L, chemical oxygen demand(COD) 0.1 to 1.9

mg/L, suspended solids(SS) 0.005 to 4.2 mg/L, Total Phosphorus(T-P) 0.002 to 0.3 mg/L, In regards to the result of calculating point pollutants, nine rivers were investigated(the three excluded rivers were Sanjicheon, Daewangsucheon, and Hyodoncheon which had no findings on flow data for the cross-sectional diagram). BOD loads ranged from 0.21 to 36.94 kg/day, COD 0.09 to 37.80 kg/day, SS 0.01 to 48.34 kg/day, T-P 0.002 to 10.01 kg/day.

In terms of pollutant concentration types for each flowing stream, they showed different rises and declines depending on the change of flow rate, it is likely that the result was affected by flow rate. As a result of computing non-point pollutants, BOD ranged from 20.1 to 64.1 kg/day, COD 57.5 to 162.6 kg/day, SS 176.7 to 617.7 kg/day, T-P 2.0 to 11.4 kg/day. Due to the lack of data from the result of this study for correlation analysis with the statistical program SPSS, the analysis was implemented by combining this minimal data with extra data provided by the Public Health & Environment. Research Institute of Jeju Special Self-Governing island together. The result was that Yeonoicheon showed a correlation between COD-SS with 0.540, in the case of Donghongcheon, BOD-SS was 0.803, and COD -T-P was 0.640, which showed a very high correlation coefficient. Moreover, the study showed that significance probability remained within five percent.

Both Yeonoicheon and Donghongcheon turned out to have correlations between COD-SS, BOD-SS, and COD-T-P as a whole. Pollutants seemed to be generated by suspended solids flowing mainly from forests and fields.

# I. 서론

제주도는 연평균 2,000 mm 달하는 많은 비가 내리는 국내 최대다우지 지역임에도 불구하고, 투수성이 높은 현무암질의 화산암의 지질특성으로 인해 연중 흐르는 하천이나 강이 없고, 하천유출은 40~50 mm 이상의 집중호우 시에 짧게 발생하는 특징이 있다. 이러한 하천유출의 특성으로 인해 지표수의 발달이 매우 미약하고, 짧은 유하거리의 특성으로 인해 유출이 발생한 후 2 ~ 3일정도 이내로 유지하고 있어 대부분의 하천이 평상시 유수가 없는 건천(乾川)을 이루고 있다. 제주도 하천은 한라산 정상부를 중심으로 정상에서부터 장축 73 km, 단축의 길이 31 km의 타원형으로 방사형의 형태를 나타내며, 동서쪽으로는 경사가 완만한 용암대가 발달되어 있다. 수계로의 발달이 빈약하며, 제주지역 대부분의 하천들은 남북사면으로 하여 해안변 가까이에 형성되어 있다. 제주도 하천의 현황을 보면 지방 2급으로 편성된 하천이 60개소가 분포되어 있고, 이중 소하천으로 편성된 하천이 82개소이다.<sup>1)</sup> 이 중 용천수의 기저유출에 기인한 상시적 흐름이 있는 유수하천이 제주시 지역에 산지천, 외도천, 그리고 용포천을 포함해 3개가 있고, 서귀포시 지역에는 창고천, 예래천, 대왕수천, 중문천, 강정천, 악근천, 연외천, 동홍천, 그리고 효돈천을 포함하여 9개소가 분포하고 있다. 유수하천은 용천수의 기저유출을 통해 형성된 것으로 가뭄과 같은 기상영향으로 인한 영향을 비교적 적게 받으며 수질이 양호하여 상수원으로 개발하여 이용되고 있다. 하지만, 유수하천의 물을 수자원으로 이용함에 있어서 체계적인 모니터링과 수질에 대한 지속적인 연구가 매우 미흡한 실정이다.

제주의 유수하천 지역을 대상으로 진행된 연구로는 제주도의 유수하천을 중심으로 기저유출량을 산정에 관한 연구<sup>2)</sup>에서 제주지역 유수하천인 외도천, 용포천, 강정천, 연외천을 대상으로 강우량에 따라서 하천수위 변동의 특성을 파악하였다. 또한, 이러한 자료를 토대로 수위-유량 관계곡선으로 표현하여 각 하천별 연간 기저유출량의 규모를 파악하는 연구가 진행되었다. 다른 문헌을 보면 제주특별자치도가 추진하고 있는 한라산 고지대에서부터 흘러오는 하천유출의 활용하

는 지하수 인공함양 시범연구 소개하였으며 제주 남·북부지역의 한천, 화북천, 효례천을 대상으로 유출특성과 유출수의 수질특성을 조사·분석을 통해 하천유출수의 효율적 활용방안 및 재해 저감 방안을 마련 연구를 진행하였다.<sup>3)</sup> 제주지역 한천에서 진행된 연구로 제주시 한천유역을 대상으로 유량관측을 통해 유출특성을 도출하고 이러한 자료를 기반으로 강우량, 유역의 손실, 유역추적 매개변수, 단위도법 매개변수 등 제주도 수문특성을 반영한 매개변수를 도출하여 홍수유출량 산정 연구도 진행되었다.<sup>4)</sup>

본 연구와 관련하여 점오염원과 비점오염원 산정 및 수질오염항목 간 상관관계 분석한 국내 문헌으로는 Park<sup>5)</sup>이 하천유역 모델인 SWMM(storm water management modle)을 이용하여 일강우량을 가정하여 토지이용 분류를 논, 밭, 산지로 하여 면적당 강우량에 따라 배출되어지는 비점오염을 산정하였으며 회귀 분석을 통해 강우사상별 배출부하 함수를 추정하는 연구를 진행하였다. Jung<sup>6)</sup>은 갑천수계 중 진잠천의 주변지역의 비점오염원에서부터 배출되는 오염원에 대해서 부하량과 하천에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 강우량, 수질 및 유출량을 조사하고 분석하여 BOD, COD, SS, T-N, T-P의 오염물질 배출량을 산정할 수 있는 관계식을 통해 배출량을 산정하였다. Jeon et al<sup>7)</sup>은 화용간척지역에 있는 2개의 소유역에서 1999년 1년 동안 비도시 유역의 강우시와 비강우시 측정된 자료에 의해 오염물질간의 상관관계를 분석하여 높은 오염물질간의 회귀분석을 통해 오염물질간의 유출거동을 파악하였다. Kim et al<sup>8)</sup>은 하구담수호로 유입되는 하천수의 수질오염물질을 강우시와 비강우시로 구분하여 상관관계 분석을 통해 물질간의 상관성을 연구하였다. 국내에서는 하천유역의 토지이용도를 활용하여 점오염원 및 비점오염 산정, 유역의 수질특성, 오염부하량 산정, 오염원 간의 상관성에 대한 연구가 많이 이루어졌지만 제주지역은 하천유역의 인근 토지이용현황을 활용하여 점오염원 및 비점오염원, 오염부하량, 오염항목 간 상관관계분석 연구는 아직 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구는 제주도 우수하천의 수질특성과 각 하천유역의 수질오염항목 간의 상관성을 분석하여 어떤 요인의 영향으로 오염원 발생이 시작되었는지 점오염원, 비점오염원 산정한 결과를 가지고 각 하천유역별로 원인을 밝히고 규명하는데 목적이 있다.

## II. 이론적 배경

### 1. 점오염원

점오염원(點汚染源)<sup>9)</sup>은 생활하수·산업폐수·축산폐수 등 일정한 배출경로 가진 오염원을 말한다. 점오염원의 경우 강우시 비강우시 배출량에 큰 변동 없이 오염원 유출경로가 명확하게 파악이 가능하여 제어가 쉽고, 계절에 따른 영향이 상대적으로 적어 연중 발생량 예측이 가능하므로 처리시설의 설계와 유지관리가 매우 용이한 특성을 가지고 있다. 또한, 수처리를 함에 있어 매우 효율적인 처리가 가능하다.

Table 1. Comparison of non-point pollution sources and point pollution source

Section	Point Pollutant	Non-point Pollutant
Output source	<ul style="list-style-type: none"> <li>- factory, sewage, sewage disposal, farming, stock farmer and etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ground, rice field, road, Atmosphere fall material and etc.</li> </ul>
Character-istic	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Artificially</li> <li>- Only discharge function</li> <li>- Exhaust point clearness</li> <li>- Intensive exhaust to specific point</li> <li>- Collection ease, High efficiency</li> <li>- Seasonal change being few</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Artificially and Naturally</li> <li>- Double-faced of exhaust function and purification ability</li> <li>- Exhaust point indefiniteness</li> <li>- Does diffusion to be difficult, effect of the rainfall Receives and the control efficiency does not fix</li> <li>- Seasonal change being serious</li> </ul>

## 2. 비점오염원

비점오염원(非點汚染源)<sup>39)</sup>은 점오염원과 상대적인 의미로 주로 도시·농경지·산림·도로 등에서 강우시 지표면에 잔존해 있던 오염원들이 빗물과 함께 명확한 이동경로 없이 유출되는 오염원으로써 처리가 대단히 곤란하다. 또한, 유출의 발생이 매우 불규칙할 뿐 만아니라 많은 종류의 오염물질을 함유하고 있으며, 부하 변동 폭이 크다.

비점오염원 물질의 종류로는 토사 박테리아, 바이러스 기름, 그리고 금속 등이 포함되어 유출이 되며 오염원 종류 및 배출원은 Table 2에 제시하였다.

Table 2. Non-point source pollutants and major sources

Type	Major source
Sediment	- Construction Sites, Mining Operations, Croplands, Logging Operations, Streambank Erosion, Shoreline Erosion, Grazed Woodland
Nutrients (Fertilizers, Grease, Organic Matter)	- Croplands, Nurseries, Orchards, Livestock Operations, Gardens, Lawns, Forests, Petroleum Storage Areas, Landfills
Acids and Salts	- Irrigated Lands, Mining Operations, Urban Runoff, Roads, Parking Lots, Landfills
Heavy Metals (Lead, Mercury, Zinc)	- Mining Operations, Vehicle Emissions, Urban Runoff, Roads, Parking Lots, Landfills
Toxic Chemicals (Pesticides, Organic, Inorganic Compounds)	- Croplands, Nurseries, Orchards, Building Sites, Gardens, Lawns, Landfills
Pathogens (Bacteria, Viruses)	- Domestic Sewage, Livestock Waste, Landfills

비점오염원 저감을 위한 강우유출수 관리시설에는 크게 자연형 시설과 장치형 시설로 구분되어 있는데, 먼저 자연형 시설에는 저류시설, 인공습지, 침투시설, 식

생형 시설 등이 있고, 장치형 시설 종류는 여과형, 와류형 스크린형 응집침전처리형, 생물학적 처리형 등으로 구분되어 있다. 이 중에 강우유출수 저류시설 및 침투시설은 비점오염원의 저감 뿐 만아니라 홍수 방재를 위한 우수유출저감도 포함하고 있으며, 대부분의 비점오염원의 유출은 강우유출수와 동시에 진행되기 때문에 강우유출량이 저감될수록 비점오염원의 저감양도 증가하므로 대부분의 비점오염원 저감시설과 강우유출억제 시설은 동일한 구조를 가지고 있다.

Table 3. Non-point pollution source technology

Type	Non-point pollution source reduction technology
Natural Type	- Detention type, Constructed wetlands, Infiltration type, Vegetation type
Device Type	- Filtration type, Vortex type, Screen type, Coagulation·Precipitation treatment, Biological treatment

자연형 시설에는 저류 시설, 인공습지, 침투 시설, 식생형 시설 네가지 시설로 분류되어 있다.

저류 시설은 강우유출수를 저류하여 침전 등에 의하여 비점오염물질을 저감하는 시설로 저류지·연못 등을 포함한다. 인공습지는 침전, 여과, 흡착, 미생물 분해, 식생식물에 의한 정화 등 자연상태의 습지가 보유하고 있는 정화능력을 인위적으로 향상시켜 비점오염물질을 저감하는 시설을 말한다. 침투 시설은 강우유출수를 지하로 침투시켜 토양의 여과·흡착 작용에 따라 비점오염물질을 저감 하는 시설로서 유공포장, 침투조, 침투저류지, 침투도랑 등이 포함된다. 식생형 시설은 토양의 여과·흡착 및 식물의 흡착작용으로 비점오염물질을 저감함과 동시에, 동·식물 서식공간을 제공하면서 녹지경관으로 기능하는 시설로서 식생여과대, 식생수로 등이 포함된다.

장치형 시설에는 스크린형 시설, 여과형 시설, 와류형 시설, 응집·침전 처리형 시설, 생물학적 처리형 시설 다섯가지 시설로 분류되어 있다.

스크린형 시설은 망의 여과·분리 작용으로 비교적 큰 부유물이나 쓰레기 등을 제거하는 시설로서 주로 전처리에 사용하는 시설을 말한다. 여과형 시설은 강우유출수를 집수조 등에서 모은 후 모래·토양 등의 여과재를 통하여 걸러 비점오염

물질을 저감하는 시설을 말한다. 와류형 시설은 중앙회전로의 움직임으로 와류가 형성되어 기름·그리스(grease) 등 부유성물질은 상부로 부상시키고, 침전 가능한 토사, 협착물은 하부로 침전·분리시켜 비점오염물질을 저감하는 시설을 말한다. 응집·침전 처리형 시설은 응집제를 사용하여 비점오염물질을 응집한 후, 침강시설에서 고형물질 침전·분리시키는 방법으로 부유물질을 제거하는 시설을 말한다. 생물학적 처리형 시설은 전처리시설에서 토사 및 협착물 등을 제거한 후 미생물에 의하여 콜로이드(colloid)성, 용존성 유기물질을 제거하는 시설을 말한다.

비점오염원 저감과 강우유출량을 동시에 저감할 수 있는 시설은 다음과 같이 수질개선, 수량개선, 친수개선, 홍수방지 등의 다양한 효과가 있다.

Table 4. Effects by non-point pollution treatment facility

Section	Effect
Water quality improvement	- Decrement of water pollution of public waters
	- Reduction of sewerage facility charge
	- Security of rivers maintenance water and dry stream prevention water
Close water improvement	- Formation of city view
	- Demobilization of natural ecosystem
	- City line island reconciliation relaxation
Water quantity improvement	- Recreation
	- Recovery of rivers normal flow
	- Security of other water
	- Security of ground water
Water operation improvement	- Security of fire fighting water
	- Water circulation functional improvement
	- Salt infiltration prevention
	- Vegetation drying dead prevention
Flood prevention	- Ground sinkage prevention
	- Reduction of city flood damage
	- Peek discharge decrement

### 3. SPSS(Statistical Package for the Social Sciences)

SPSS(Statistical Package for the Social Sciences)는 본래 사회과학 데이터 분석을 위해 고안된 통계프로그램이지만, 광범위한 분야의 대한 데이터 입력, 관리 및 통계분석을 목적으로 이용되기도 되며 전문프로그래머가 아닌 일반사용자들도 쉽게 이용할 수 있도록 개발된 통계프로그램이다. 여러 학문분야 중 특히 사회과학 분야에서는 자료의 기술통계량 분석 뿐 만아니라 교차분석, 상관분석, 회귀분석, 분산분석, 관별분석, 요인분석 등 복잡한 분석에 유용하게 이용된다. 이 중 자연과학에서는 대표적으로 각 변수들 간의 상관관계 분석 및 요인분석, 교차분석, 회귀분석 등 다양한 분석기법들을 이용하여 분석하고 증명여부를 확인할 수 있도록 산점도, 선도표, 막대그래프 등을 손쉽게 구현하여 증명하는데 주로 사용된다.

데이터의 입력방법을 보면 SPSS의 데이터 입력창은 Microsoft Excel 프로그램의 셀과 유사하여 데이터를 간단하게 불러오기 하여 입력이 가능하다. 데이터 입력이 완료되면 사용자가 분석을 하고자하는 메뉴를 선택하여 여러 가지 다양한 분석이 가능하다. 따라서, 본 연구에서는 앞서 말한 통계프로그램 SPSS를 이용하여 제주지역 각 우수하천별로 수질특성을 파악하고 각 하천별 수질오염항목 간의 상관성 여부를 분석하였다.

### Ⅲ. 연구대상 및 방법

#### 1. 연구대상 지역

제주지역 우수하천 제주도 3개소 산지천, 의도천, 옹포천과 서귀포시 9개소 창고천, 대왕수천, 예래천, 중문천, 강정천, 악근천, 연외천, 동홍천, 효돈천을 대상으로 총 12개의 우수하천에 대해 현장조사를 사계절(2013년 5월, 8월, 10월, 12월)로 나누어 실시하였다.

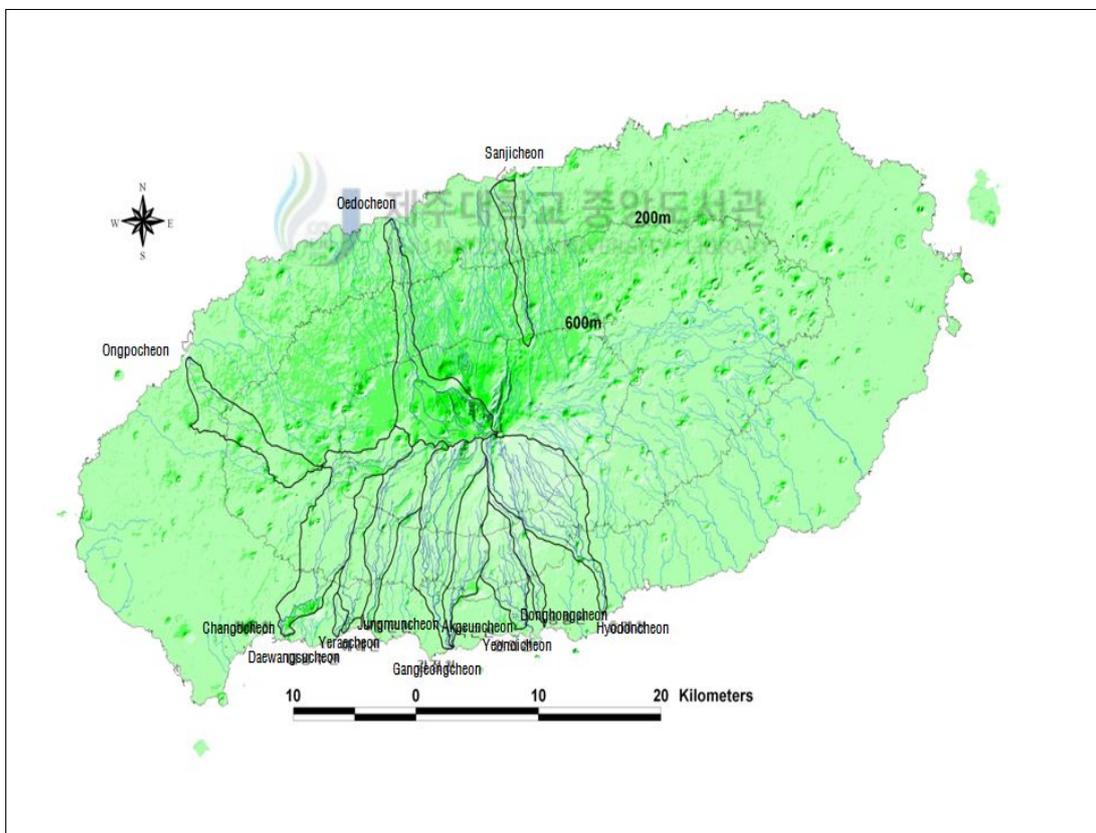


Fig. 1. Location of Stream in Jeju Island.

Data : Database Implementation GIS

본 연구의 대상 유수하천인 산지천은 한라산 북쪽 관음사 인근에서 발원하여 제주특별자치도 제주시 아라동, 일도동 도심을 통과하며, 제주항 바다로 흘러가는 도심하천이다. 하류에는 동문시장을 비롯하여 많은 상가와 주택, 인구 등 많이 밀집해있으며 주변에는 한천과 병문천이 위치해 있다.

외도천<sup>2)</sup>은 한라산 Y계곡에서 발원하여 제주특별자치도 북서부 위치한 외도2동 해안으로 유입되는 하천이다. 중·상류 산림에는 팽나무, 소나무 등이 자리를 잡고 있으며 하류지역에 소규모 도시가 형성되어 있다.

용포천은 서부 지역 최대의 용천수를 용출하는 하천이며 한림읍 금악리에 위치한 누운오름 남사면에서부터 흐르기 시작하여 가린천 지점에서 하천이 둘로 갈라져 흐르다가 양문천 구간에서 다시 합류되어 용포리 해안으로 흘러가는 하천이다. 중·상류지역 산림에는 팽나무들이 많이 자리잡고 있었으나, 현재는 구간마다 하천정비가 이루어져 많이 훼손되어 있고, 대규모 골프장과 하류에는 관광 시설(펜션, 리조트 등)이 위치해있다.

창고천은 한라산 남서쪽 삼형제오름 일대에서 발원하여 제주특별자치도 서귀포시 안덕면 지역을 관통하고 감산리 해안으로 유입되는 하천이다. 상류에는 실개천과같은 지류가 모여 복잡하게 이루어져 있으며 중류쪽에서는 비교적 완만하게 흐르다가 다시 하류는 급경사의 형태를 보인다. 도시는 하류쪽인 감산리에 밀집되어 있으며 주변으로 시설농업재배가 많이 형성되어 있다.

대왕수천은 서귀포시 상예동 일대에 통과하며 상예마을을 거쳐 “논짓물” 해안으로 흘러들어가는 하천이다. 서귀포시에는 소하천은 46개소가 있으며 이 중 대왕수천이 소하천에 포함된다. 주택과 인구는 하천 하류지역에 밀집되어 있으며, 주변으로 밭, 과수원 등 작물재배가 이루어지고 있다.

예래천은 제주특별자치도 서귀포시 색달동에서 발원하여 예래동 바다로 흘러드는 하천이며, 지방 2급 하천에 속한다. 물이 차잡고 깨끗하여 상류 쪽에는 미니농사가 이루어지고 있으며, 하류에는 반딧불 보호구역, 생태하천체험공간으로 조성되어있다. 예래동 해안 인근으로는 대규모 골프장시설이 위치해 있다.

중문천은 한라산의 남서쪽 녹하지악 인근에서 발원하여 중문동을 관통하여 천제연폭포를 거쳐 바다로 흘러드는 하천이다. 하천이 관통하는 중문동에는 인구와 주택, 상가 등이 밀집되어 있으며, 하류에는 담팔수나무 군락지로 유명한 천제연

폭포와 제주관광의 효시라 할 수 있는 중문관광단지가 개발되어 있다.

강정천은 한라산 영실 부근에서 발원하여 도순천을 포함하여 흐르고 있다. 강정천은 지방하천 2급에 속하며, 수질이 매우 깨끗하여 1급수 어종인 은어가 서식하기도 한다. 그리고 마을주변에 위치해 있는 강정정수장을 통해 하루 27,000t정도 취수하여 서귀포시민 70%가 식수원으로 사용 하고 있고, 강정마을 주변으로 과수원, 밭, 시설재배시설이 많이 형성되어 있다.

약근천은 한라산의 남쪽에서 발원하여 강정동과 범환동 일대를 거쳐 강정동 동쪽 바다로 흘러가는 하천이다. 인근 하천인 강정천에 비해 규모가 작은 편이며, 강정천과 마찬가지로 수질이 매우 양호해 1급수 어종인 은어가 서식하고 있다. 그리고 하천 상류에는 영또폭포가 위치해 있다.

연외천은 서귀포시 서홍동 북쪽 한라산 기슭에서 발원하여 천지연폭포를 경유, 서귀포항을 통해 바다로 유입되는 하천으로 서귀포시의 중심하천이며, 하천 하류 해안 쪽으로 주민들이 모여 마을을 형성하고 있으며, 상가가 많이 형성되어 있다. 그리고 난대성식물과, 천연기념물 무태장어 서식하고 있는 천지연폭포도 위치하고 있다.

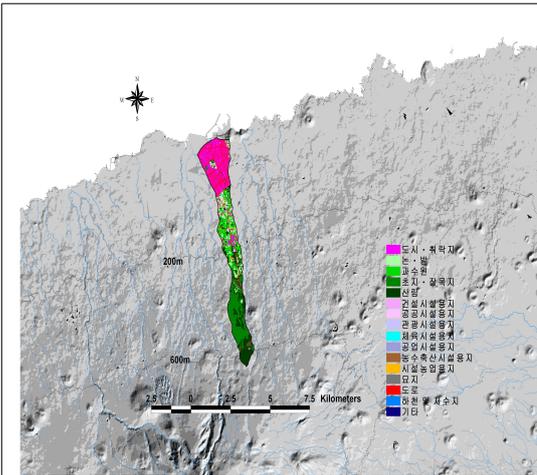
동홍천은 한라산 북쪽 미악산에서 발원하여 서귀포시 시가지를 관통하고 정방폭포를 거쳐 바다로 흘러내리는 도심하천이다. 하천 상류지역에는 유역이 매우좁고 난대성 수목이 무성하게 자라있다. 대부분 인구, 주택, 상가 등은 하류 쪽에 밀집되어 위치해 있으며, 과수원, 밭, 시설농업이 이루어지고 있다.

효돈천은 한라산 정상에서 발원하여 하효동과 남원읍 하례리를 경계로 바다로 흘러들어가는 하천이다. 전체적으로 건천을 형성하고 있지만 일부구간 상시흐름이 있는 “돈내코”를 비롯하여 하천 하류에 있는 “쇠소깍” 해안을 통해 바다로 유입된다. 효돈천은 산남 최고의 하천으로 중류에서부터 하류까지 여러 마을이 위치해 있으며, 이 곳 수질이 매우 양호하여 인근 마을의 식수로 이용되었다.

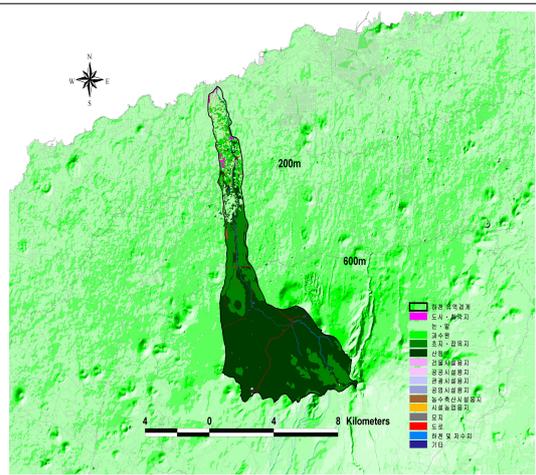
Table 5. Form of the streams

Streams name	grade	Streams section			
		starting position		End position	
		administrative district	boundary	administrative district	boundary
Sanji cheon	region	Jeju ara	ara 398	Geonip-dong	Geonip-dong 984
Oedo cheon	region	Jeju Oedo	Guangling 475	Oedo	the confluence Dogeunchon
Ongpo cheon	region	Jeju Hallim	Myungwall 441-1	Hallim	Ongpori 407
Chango cheon	region	Seogwipo andeok	jejusi, Seogwiposi	andeok	hwasun 610-2
Daewangsu cheon	small stream	Seogwipo Sangye	Sangye 393	haye	haye 568
Yerae cheon	region	Seogwipo secdal	secdal 3174	Sangye	Sangye 978
Jungmun cheon	region	Seogwipo secdal	secdal 1	jungmun	jungmun 2646
Gangjeong cheon	region	Seogwipo Gangjeong	San 1	dosun	the confluence dosunchon
Akgeun cheon	region	Seogwipo Gangjeong	Gangjeong 52	Gangjeong	Gangjeong 1541
Yeonoi cheon	region	Seogwipo seohong	sehong 2522	cheonji	cheonji 808
Donghong cheon	region	Seogwipo Donghong	Donghong 1	seogwi	seogwi 1541
Hyodon cheon	region	Seogwipo sanghyo	sanghyo 1	hahyo	hahyo 995

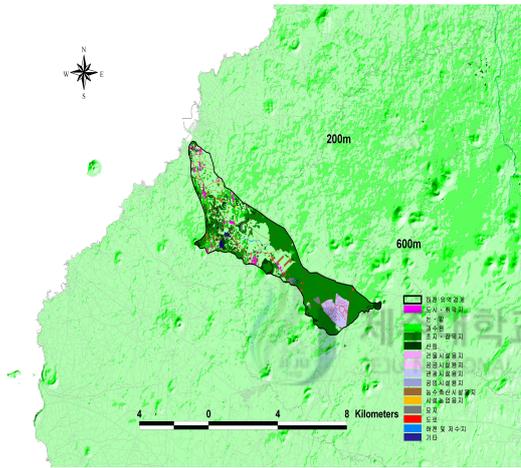
Data : Korea Rivers Puruse(2012)



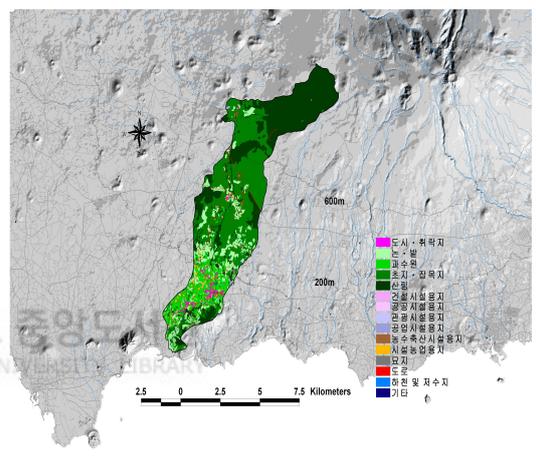
Sanjicheon



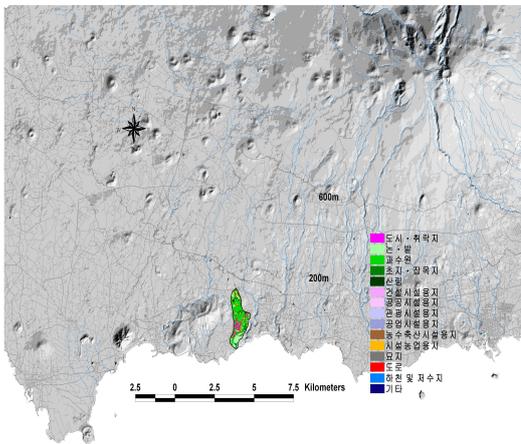
Oedocheon



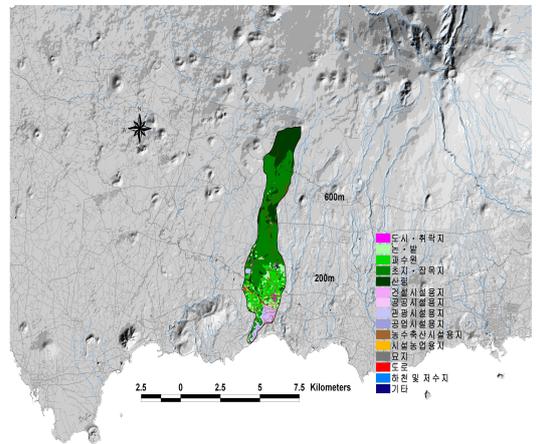
Ongpocheon



Changocheon



Daewangsucheon



Yeraecheon



## 2. 하천 현장조사

제주지역에 있는 유수하천(제주시 3개소, 서귀포시 9개소) 12개소의 수질특성을 조사하기 위해 각 하천유역 하류지점에서 조사를 실시하였다. 현장조사 기간은 사계절로 구분하여 4번의 현장조사를 실시하였으며, 춘계조사는 2013년 5월 26일, 하계조사는 8월 23일, 추계조사는 10월 25일, 동계조사는 12월 6일에 실시하였다. 현장조사 지점 선정은 하천유역을 상·중·하류를 나눌 수 있으나 결국 오염원이 최종적으로 모이는 하류지점에서 조사를 실시하였다. 조사지점은 Table 6에 제시하였다. Jeon(2001)이 화웅간척지역 2개의 소유역을 대상으로 비강우시와 강우시 오염물질 간 상관관계 분석을 위한 연구에서 시료채취 시 하천의 말단부분에서 이루어 졌고, Kim(2004)이 같은 지역에서 화웅과 새만금유역의 강우시와 비강우시 각 항목에 대한 수질조사 시 하천의 가장 말단 지점에서 시료채취가 이루어졌다. 따라서 본 연구에서도 각 유수하천의 상·중·하류 중 하류의 말단 지점에서 현장조사를 실시하였다.

다항목수질자동측정장비(HQ40d Dual-Input Digital Multi-Meter)를 이용하여 수온, 수소이온농도(pH), 용존산소(DO), 전기전도도(EC), 총용존고형물(TDS) 5개의 항목에 대해서는 현장측정을 실시하였고, 나머지 4개 항목 생물학적산소요구량(BOD), 화학적산소요구량(COD), 부유물질(SS), 총인(T-P)은 각 하천별로 하류유역 조사지점에서 멸균통에 하천수질을 담아 실험실로 운반하고 24시간 안에 실험실에서 실험하였다. 실험을 통하여 얻어진 데이터와 대상하천 유역에 대한 토지이용도 자료를 토대로 점오염원 및 비점오염원 산정하였으며 오염원 항목 간의 상관성을 명확하게 분석하기 위해 통계프로그램 SPSS를 이용하여 상관관계분석을 실시하였다. 분석항목과 분석법은 수질오염공정시험법에 준하여 실험하였고 Table 7에 제시하였다.

Table 6. Location of Stream in Jeju island

No.	Name of Stream		Latitude			longitude			Height(m)
			Degrees	minutes	seconds	Degrees	minutes	seconds	
1	Sanjicheon	Jeju-si	33	30	52.97	126	31	43.04	42
2	Oedocheon	Jeju-si	33	29	31.5	126	26	6.8	23
3	Ongpocheon	Jeju-si	33	24	19.27	126	15	32.2	0
4	Changocheon	Seogwipo-si	33	14	22.41	126	20	38.72	32
5	Daewangsucheon	Seogwipo-si	33	14	18.09	126	23	28.76	55
6	Yeraecheon	Seogwipo-si	33	14	36.32	126	23	49.52	32
7	Jungmuncheon	Seogwipo-si	33	14	58.49	126	24	43.88	0
8	Gangjeongcheon	Seogwipo-si	33	14	0.89	126	29	14.52	33
9	Akgeuncheon	Seogwipo-si	33	14	5.76	126	29	22.6	45
10	Yeonicheon	Seogwipo-si	33	15	2.9	126	33	23.12	74
11	Donghongcheon	Seogwipo-si	33	14	43.7	126	34	17.2	53
12	Hyodoncheon	Seogwipo-si	33	17	53.7	126	35	22.36	258

Table 7. Analytical Items and Methods

Item	Analytical Methods
Temperature (°C)	
Hydrogen ion concentration (pH)	
Dissolved oxygen (DO, mg/L)	HQ40d Dual-Input Digital Multi-Meter(Field measurements)
Electric conductivity (EC, $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	
Total dissolved solids (TDS, mg/L)	
Biochemical Oxygen Demand (BOD, mg/L)	Winkler Azide
Chemical oxygen demand (COD, mg/L)	Potassium Permanganate
Suspended solids (SS, mg/L)	Glass Fiber Filtration
Total Phosphorus (T-P, mg/L)	Absorption Photometry



Fig. 3. HQ40d Dual-Input Digital Multi-Meter.

### 3. 오염원 산정

#### 3.1. 점오염원 산정

점오염원은 생활하수·산업폐수·축산폐수 등 일정한 배출경로 가진 오염원을 말한다. 점오염원의 경우 강우시 비강우시 배출량에 큰 변동 없이 오염원 유출경로가 명확하게 파악이 가능하여 제어가 쉽고, 계절에 따른 영향이 상대적으로 적어 연중 발생량 예측이 가능하므로 처리시설의 설계와 유지·관리가 매우 용이하다. 또한, 수처리를 함에 있어서도 매우 효율적인 처리가 가능하다.

본 연구 대상하천인 제주지역 우수하천 12개소(제주시 3, 서귀포시 9) 하천유역 하류지점의 수질을 채수하고 실험실로 운반하여 24시간 이내에 실험을 하여 실험치를 도출하였으며, 각 유역의 유량은 본 연구의 현장조사 동일 일시, 채수 지점에서 유속을 측정한 데이터와 각 하천의 단면도 자료를 통해 단면적을 계산하였다. 이와 같은 자료를 이용하여 각 하천별로 유속과 단면적의 곱으로 유량을 계산하였다. 하지만, 유속자료와 단면도 자료가 없는 산지천, 대왕수천, 효돈천을 제외한 나머지 9개소의 유역에 대해서 산정하였다. Lee<sup>11)</sup>의 삼교호의 오염물질 유달률 산정 조사 및 평가연구에서도 해당유역의 점오염부하량 산정시 유량과 수질농도의 곱으로 계산하였으며, 본 연구에서도 각 우수하천 유역별 유량값과 생물화학적산소요구량(BOD), 화학적산소요구량(COD), 부유물질(SS), 총 인(T-P)의 실험값을 곱하여 점오염원을 산정하였다. 현장조사를 실시한 5월에는 5월 11일부터 26일 16일간 비가 내리지 않거나 일강수량 10 mm 이내 지표면 유출이 없었으며, 8월은 5일부터 23일까지 약 18일 동안 비가 내리지 않거나 일강수량 10 mm 이내였다. 또한, 10월은 9일부터 25일 18일간 비가 내리지 않았으며, 12월은 11월 25일부터 12월6일까지 12일간 비가 내리지 않았다. 점오염원을 위와 같은 방식으로 산정한 이유는 당해 조사년도에 선행건기일수(Antecedent Dry Days, ADD)가 약 15일(약 2주) 이상 지속되었으며, 하천수질이 강우로 인한 비점오염원으로부터 유입이 없거나 영향을 끼치지 않은 것으로 판단하여 본래의 수질(대상수질) 오염원으로 간주하였다.

## 3.2. 비점오염원 산정

### 3.2.1. 비점오염원 산정 방법

비점오염원은 주로 도시·농경지·산림·도로 등에서 강우시 지표면에 잔존해 있던 오염원들이 빗물과 함께 명확한 이동경로 없이 유출되는 오염원으로써 처리가 대단히 곤란하다. 또한, 유출의 발생이 매우 불규칙할 뿐 만아니라 많은 종류의 오염물질을 함유하고 있으며, 부하 변동폭이 크다. 비점오염원 물질의 종류로는 토사 박테리아, 바이러스 기름, 그리고 금속 등이 포함되어 유출된다. Park<sup>5)</sup>의 연구에서는 비점오염원 부하량 산정 방법을 크게 네가지로 형태로 나누어 제시하였다. 첫째, 일정 농도법은(constant concentration method) 모든 유출에 있어 주어진 오염물질의 농도는 항상 일정하다고 가정하여 유출량에 농도를 곱으로 부하량을 산정한다. 하지만 이 방법은 유량에 따른 오염부하량 변화와 연간 총 부하량의 산정 등의 목적으로는 사용 될 수 있지만, 유출에 의한 수질변동 예측을 위한 목적으로는 사용하기가 부적절하다. 둘째, 원단위법(unit loading method)을 사용하여 유역의 토지이용면적을 곱하여 유역의 총부하량을 산정한다. 하지만, 원단위는 지역의 해당 지역에 실측치를 바탕으로 산정되어 지역적인 영향을 크게 받는다는 단점이 있다. 셋째 유량가중평균농도(event mean concentration:EMC)를 이용하여 산정하는 방법이다. 이 방법은 유출농도들의 확률분포 모형을 분석하고 추정된 중앙값과 변동계수의 결정되며, 대상지역에 따라 지역적인 영향을 크게 받는 방법이다. 마지막으로 SWMM(Storm Water Management Model), STORM(Storage, Treatment, Overflow, Runoff Model), HSPF(Hydrologic Simulation Program -Fortran), AGNPS(Agricultural Nonpoint Source Pollution Model)의 유역모델로 개발되어 부하량 산정에 이용되고 있다. 국내에서 대규모 비점오염원단위가 조사된 연구를 찾아보면 환경부<sup>12)</sup>가 “4대강 유역을 대상으로 토지이용도를 논, 밭, 목장, 산지, 도시 등 5분류로 정하여 연구되었고, 한국건설기술연구원<sup>13)</sup>은 팔당상수원 유역을 논/밭 산림 도시 등 3분류로 조사를 실시하였다. 또한, 환경관리공단<sup>14)</sup>은 금강수계를 논, 밭, 산지, 도

시 4분류로 나눠 진행한 바 있다.

본 연구에서는 네가지 방법 중 원단위(unit loading method), 유량가중평균농도(event mean concentration:EMC), SWMM(Storm Water Management Model)모형들은 장기적인 현장조사 실측치와 강우자료가 뒷받침되어야 적용이 가능하나 현재 연구에서 적용 가능한 일정 농도법(constant concentration method)을 사용하여 각 대상하천 유역에 있는 토지이용면적과 비점오염원 원단위의 곱으로 산정하였으며, 토지이용에 대한 분류는 환경부 5개분류, 한국건설기술원 3개분류 팔당상수원 3개 분류로 제시하였지만, 본 연구자료에서 도로 면적이 추가되어 있어 도로를 포함한 도시(취락지), 밭, 산림, 상업지역, 공업지역, 도로 등 6개의 지역으로 분류하여 산정하였다.



### 3.2.2. 비점오염원 원단위 산정 방법

비점오염원단위를 산정할 때는 그 지방의 기후, 지형, 강수량, 일시, 수문학적인 인자에 따라서 차이가 많이 나타나기 때문에 원단위 정확한 산정을 위해서는 장기간에 걸친 조사와 신뢰성 있는 실측자료가 확보되어야 한다.

토지이용별로 원단위를 산정하기 위해서는 연구를 하고자하는 대상유역에 대해 장기간으로 측정된 자료를 통하여 산정하는 것이 매우 중요하며, 기존 원단위 조사 연구 결과도 연구자와 지역에 따라서 산정결과도 차이가 나타나기 때문에 정확한 토지이용에 대한 원단위의 산정은 매우 어렵다. Kim<sup>15)</sup>의 연구에서는 미국 원단위 산정법(U.S. Method)과 국립환경과학원 비점오염부하량 평가기법연구(NIER Method)에서 제시된 원단위 산정을 이용해 원단위를 산정하였다.

Table 8. Comparison of unit load methods

	Methods	Remarks
USA Method	Load(kg/km <sup>2</sup> /year )=CR(R)(EMC)	CR=Runoff coefficient R=Year rainfall(mm) EMC=Event Mean Concentration(mg/L=g/m <sup>3</sup> )
NIER Method	loadz = Representation year rainfall ×EMCz×Rz/365	EMCz=land cover mappingz의 Concentration (mg/L), Rz = land cover mapping z의 Rate of Flow Representation year rainfall = 30year Total monthly rainfall(mm)

Ko<sup>16)</sup>의 연구에서는 원단위 산정방법 중 강우시 토지이용에 따라 강우 유출수를 실측하여 원단위 산정에 이용하는 방법을 사용하였다.

$$Unit\ load(kg/km^2 \cdot day) = \frac{P \times C \times EMC}{365}$$

$$Runoff\ coefficient(C) = \frac{Event\ runoff\ volume}{Event\ rainfall\ volume} = \frac{\int_0^T Q_{TR_u}(t)dt}{\int_0^T Q_{TR}(t)dt}$$

P = 연평균 강우량(mm)

C = 유출계수

EMC = 각 토지이용별 유량가중평균농도(mg/L)

Q<sub>TR</sub>(t) = 유출된 유량(m<sup>3</sup>)

Cho<sup>17)</sup>의 연구에서는 제주지역에 적용이 가능한 비점오염원 발생 원단위 값을 산정하기 위하여 실측에 의한 원단위 산정 방법을 사용하였다.

$$원단위(kg/ha/yr) = P \times P_j \times C \times EMC$$

P = 연간평균 강수량

P<sub>j</sub> = 우수유출이 없는 강우에 대한 보정치

C = 유출계수( 유출량(mm)/강우량(mm))

### 3.2.3. 비점오염원 원단위 적용

본 연구에서는 각 하천유역에 정확히 측정된 토지이용면적, 기후, 강수량 등 장기간의 걸친 조사와 토지이용별 면적의 실측자료가 확보되지 못해 원단위를 산정하는데 어려움이 있었다. 그래서 국내에서 연구된 비점오염원 원단위자료를 인용하여, 제주지역의 특성을 가장 반영할 수 있는 토지이용별로 원단위 값을 선정하여 사용하였다. 비점오염원 원단위 값 비교표는 Table 9에 제시하였다

도시지역에 원단위의 연구로는 Choi<sup>18)</sup>가 경기도 성남 분당구 일대를 현장조사를 하였다. 이 지역의 세대수는 약 370세대 이상인 고밀도 인구 밀집지역이다. 황(2008)이 연구한 안성천유역의 도시 형태는 주변지역으로 소하천이 흐르며, 송탄신도가 인근에 있고, 지하철 1호선이 통과하는 전형적인 도심지역의 형태를 보였다. Cho(2006)가 연구한 제주지역 단독주거지의 형태는 도시전형적인 모습을 보이고 있으나 제주지역의 주거형태와 가장 흡사하게 나타나 있어 원단위를 적용하는데 적합할 것으로 사료되었다.

밭 지역에 원단위는 Paldang(2002)의 보고서에서 양화천 지역을 선정해 조사하였으며, 전형적으로 논/밭의 비중이 많이 차지하는 지역이다. 인구수는 약 4만 명인 지역이다. Lee<sup>19)</sup>가 연구한 지역은 강우 배출특성이 산지로부터 산림을 거쳐 밭을 지나 하천으로 유입되는 형태를 보이고 있으며, 경사진 농경지의 유형을 하고 있다. 본 연구대상인 옹포천 유역을 Cho<sup>20)</sup>가 농경지(밭) 원단위 산정한 바 있으며 제주도 지형특성상 가장 적합할 것으로 사료되어 적용하였다.

산림지역에 원단위는 Hwang<sup>21)</sup>이 연구한 산림지역은 하천수질이 산지에서부터 천천히 유하하는 구릉의 형태를 보이고 있으며, 전체 유역의 면적 중 54%를 차지하는 지역이다. Paldang(2000) 보고서에서는 운학천 지역을 선정하여 조사하였으며 이 곳은 팔당상수원의 인근 다른 유역에 비해서 인구밀도가 높으며, 전체 유역중 산지가 차지하는 비중이 48.3%로 산지지형의 형태를 가진다. Lee(2006)의 연구지역인 산지의 형태가 오염물질 배출시 산림 → 농경지(밭) → 수계로 연결되어 있으며, 경사진 지형과 농경지(밭)에 무입목이 혼재된 형태가 제주지역의 산림의 특성과 밀접하다고 사료되어 원단위로 적용하였다.

상업지역의 원단위는 Choi(2002)의 연구대상인 상업지역의 형태는 점포수가 50

개 이상 분포해 있으며, 도시 아파트 밀집지역에 있는 곳을 선정하였다. Kang<sup>22)</sup>의 연구조사 상업지역 형태는 고속도로에 위치한 휴게소의 상업시설의 형태를 보였다. 따라서 국립환경과학원에서 연구한 영산수계, 섬진강수계의 상업지역의 형태가 저밀도 업종별로 되어있고, 상업지역의 투수면적보다 불투수면적 비중이 크게 나타나며 상가 대부분의 높이가 1~2층 제주 우수하천의유역의 상가들과 비슷하게 나타나 원단위를 적용하였다.

공업지역 원단위는 Choi(2002), Shon et al<sup>23)</sup> 연구에서는 공업지역의 형태가 대규모의 공업단지로 설정되어 있었으며 원단위 값도 너무 높게 산정되어 있었다. 공단지역이 투수면적 보다는 불투수면적의 비중이 많다는 공통점은 있었지만 제주지역에 적용하기에는 무리가 있었다, 따라서 Kim et al<sup>24)</sup>이 연구한 공업단지는 교외 산업단지의 형태를 보이고 있지만 주로 금속산업이 이루어지고 있으며, 불투수면적이 투수면적에 비해 80%으로 나타나 제주도의 공업지역을 가정해 볼 때 주로 공업사, 철공소 등 주로 금속산업으로 이루어져 있어 원단위를 적용하였다.

도로의 원단위는 Choi(2002), Park et al<sup>25)</sup>이 연구한 도로지역은 대규모 고속도로의 형태를 보이고 있고, 불투수면적도 많은 차이가 있을 것으로 판단되어 제주도의 도로 특성상 원단위로 적용하는 것은 무리가 있다고 판단하였다. 그리하여 Ko(2008)의 연구에서 경안천지역의 도로지역의 원단위를 적용하였다.

Table 9. Application Basic Unit of Non-Point Source

(unit : kg/ha/yr)

Land Use	BOD	COD	SS	T-P	References
Urban	58.8	151.6	132.3	0.7	this study ①
Farm	5.5	22.6	160.1	3.4	this study ②
Forest	3.5	5.0	7.0	0.1	this study ③
Commerce area	9.38	27.3	97.49	0.6	this study ④
Industry area	24.8	52.5	143.9	1.8	this study ⑤
Road	50.2	331.2	580.1	1.4	this study ⑥

① Cho. Management of Non-point Sources Study in Jeju Area(2006)

② Cho. Runoff Characteristics of Non-point Pollutants at Ongpo and Chunmi Stream Watershed in Jeju Area(2008)

③ Lee, Characteristics of Pollutants Release from Forest and Upland Soil(2007)

④ Nier, Research on Long-term Monitoring and BMPs for the Non-point Source Discharge<sup>26)</sup>

⑤ kim et al, Washoff Characteristics of Non-point Source Pollutants and Estimation of Unit Loads in Suburban industrial Complex areas Runoff(2012)

⑥ Ko, Characterization of Stormwater Pollutants and Estimation of Unit Loads for Road and Parking Lot in Kyeongan Watershe(2008)

## 4. SPSS를 이용한 상관관계 분석

### 4.1. 상관관계 분석

상관분석은 두 변수 사이의 관계의 정도를 측정하고 표현하는 분석방법이다. 두 변수  $x$  와  $y$  사이에 한 쪽에 변화가 다른 쪽 변화에 영향이 있을 때 상관계수( $r$ )를 통해 상관성을 알아볼 수 있다. 또한, 두 변수 사이에 상관성을 보다 명확하게 알아보기 위해서 산점도(Scatter diagram)를 그려  $x$ 축과  $y$ 축의 직선에 산점도들이 밀집해 있는지 여부와 직선의 방향이 양일 때는 양의 상관관계가 있다고 하고 음의 방향일 때는 음의 상관관계가 있다고 한다.<sup>27)</sup>

상관계수는 두 변수  $x$ 와  $y$ 사이에서 상관관계의 정도를 수치로 표현한다.

- (1)  $r_{xy}$  의 범위  $\rightarrow -1 \leq r_{xy} \leq 1$
- (2)  $r_{xy} = 0 \rightarrow x$ 와  $y$  변수가 서로 상관이 없다.
- (3)  $0 < r_{xy} \leq 1 \rightarrow$  양의 상관관계
- (4)  $-1 \leq r_{xy} < 0 \rightarrow$  음의 상관관계

즉, 완벽한 정관일 경우  $r=+1$ , 상관이 높을수록 1에 근접한 수이며, 완벽한 부상관일 때에는  $r=-1$ ,  $r=0$ 에 가까울수록 상관이 없는 것으로 판단한다. 본 연구의 데이터로는 상관분석을 하기가 어려울 것으로 판단되어 제주특별자치도 보건환경연구원에서 측정된 데이터를 합쳐 상관관계 분석을 실시하였다.

## 4.2. 상관관계 분석 목적

제주지역 유수하천별 수질특성과 수질오염원 항목 간의 상관관계를 분석한 목적은 각 하천별 수질특성에 따라 항목의 상관성 여부를 분석하고 이에 따라 오염원 자료를 토대로 오염원 발생경로의 근원을 파악하여 원인규명을 하였다. 강우시 하천조사 수질자료가 없어 청천시 측정된 수질자료를 토대로 상관성 분석을 하여 비점오염원 보다는 점오염원과 관련지어 상관관계 분석을 진행하였다.

상관성을 분석하기 위한 프로그램으로는 통계프로그램인 SPSS(statistical package for social science)와 Microsoft office Excel을 대표적으로 사용되고 있다. 본 연구에서는 Excel 프로세서 보다 자료의 입력 및 다양한 분석(상관분석, 회귀분석, 교차분석, 군집분석, 요인분석 등)과 산점도 등 그래프를 그려내는데 용이한 SPSS를 선택하여 상관분석을 실시하고 산점도를 통해 직선에 밀접여부를 확인하여 제주지역 유수하천별 수질오염 항목 간의 상관성 결과를 도출하였다.



### Ⅲ. 연구 결과 및 고찰

#### 1. 각 하천별 수질조사

연구대상지역 유수하천의 수질현황을 파악하기 위해 사계절(5월, 8월, 10월, 11월)로 나누어 현장조사 2013년 5월 26일, 8월 23일, 10월 25일, 12월 6일 실시한 자료를 Table 10과 같이 각 하천별로 제시하였다. 현장에서 즉시 측정된 항목은 수온, 수소이온농도(pH), 용존산소(DO), 전기전도도(EC), 총용존고형물(TDS)이며, 채수한 수질을 이용하여 실험실에서 생물학적산소요구량(BOD), 화학적산소요구량(COD), 부유물질(SS), 총인(T-P) 실험하였다. 그리고, 조사지점에서 측정된 수질 농도와 실험을 하여 얻어진 값을 하천환경 수질기준 중 생활환경 기준과 비교하여 그래프를 각 하천별로 농도를 비교하였다.

##### 1.1. 수온



연구대상하천의 수온은 8.1 ~ 29.8 °C 범위로 조사되었으며, 각 유역별 최저, 최고값 범위는 산지천 15.0 ~ 17.2 °C이며 평균은 15.6 °C, 외도천 11.6 ~ 19.5 °C이며 평균은 15.7 °C, 옹포천 14.0 ~ 19.0 °C이며 평균은 16.8 °C, 창고천 8.1 ~ 29.8 °C이며 평균은 19.3 °C, 대왕수천 12.4 ~ 24.7 °C이며 평균은 18.7 °C, 예래천 11.1 ~ 29.5 °C이며 평균은 20.3 °C, 중문천 14.8 ~ 23.4 °C이며 평균은 18.4 °C, 강정천 15.4 ~ 19.2 °C이며 평균은 17.5 °C, 약근천 15.4 ~ 21.4 °C이며 평균은 18.9 °C, 연외천 15.2 ~ 18.3 °C이며 평균은 16.5 °C, 동홍천 16.1 ~ 18.6 °C이며 평균은 17.2 °C, 효돈천 8.3 ~ 22.9 °C이며 평균은 16.3 °C로 나타났다.

창고천이 8.1 °C로 가장 낮았으며, 29.8 °C로 가장 높은 값을 보여 계절적인 영향으로 다소 수온차이가 나는 것으로 나타났다.

Item	Date	Sanji	Oedo	Ongpo	Chango	Devansu	Yerae	Jungmun	Gangjeong	Akgeun	Yeonoi	Donghong	Hyodon
Temperature (°C)	5/26	16.6	17.3	18.3	23.8	21.7	23.5	20.2	18.1	20.8	16.3	16.8	17.6
	8/23	17.2	19.5	19.0	29.8	24.7	29.5	23.4	19.2	21.4	18.3	18.6	22.9
	10/25	15.0	14.2	15.8	15.4	16.1	16.9	15.2	17.4	18.1	16.2	17.1	16.3
	12/6	13.5	11.6	14.0	8.1	12.4	11.1	14.8	15.4	15.4	15.2	16.1	8.3
	average	15.6	15.7	16.8	19.3	18.7	20.3	18.4	17.5	18.9	16.5	17.2	16.3
Hydrogen ion concentration (pH)	5/26	7.3	8.0	8.7	7.8	8.7	8.3	8.3	7.1	8.5	7.4	7.3	7.3
	8/23	8.0	7.5	8.0	7.7	8.4	8.6	8.3	7.5	8.4	7.7	7.1	7.7
	10/25	7.5	7.8	8.1	7.5	8.7	8.5	8.5	7.4	8.5	7.9	7.4	8.1
	12/6	7.2	7.5	7.9	7.7	8.3	8.7	8.3	7.7	8.1	7.9	7.6	8.3
	average	7.5	7.7	8.2	7.7	8.5	8.5	8.3	7.4	8.4	7.7	7.3	7.8
Dissolved oxygen (DO, mg/L)	5/26	7.0	10.0	11.4	8.6	10.1	10.6	10.4	9.6	9.6	9.8	9.8	9.2
	8/23	7.8	9.3	9.0	10.0	8.7	10.1	9.6	9.3	9.7	9.9	8.4	8.1
	10/25	9.0	10.4	10.2	9.8	10.4	11.6	10.0	9.9	10.7	10.2	9.6	9.5
	12/6	9.3	11.0	10.4	10.9	11.3	14.9	11.4	9.9	10.9	10.4	9.6	11.5
	average	8.3	10.2	10.2	9.8	10.1	11.8	10.3	9.6	10.2	10.1	9.4	9.6
Electric conductivity (EC, ds/m)	5/26	144.6	109.6	257.0	215.6	169.0	179.7	134.2	83.6	71.1	84.4	83.7	53.1
	8/23	219.0	120.3	260.0	88.6	147.3	193.1	133.4	82.5	64.7	74.3	97.5	49.7
	10/25	262.0	158.6	269.0	72.1	150.1	198.6	129.7	80.7	64.5	74.9	84.2	51.2
	12/6	312.4	155.2	552.7	302.0	163.1	216.3	315.5	76.0	64.6	76.0	102.5	48.8
	average	234.5	135.9	334.7	169.6	157.4	196.9	178.2	80.7	66.2	77.4	92.0	50.7
Total dissolved solids (TDS, mg/L)	5/26	69.4	51.5	23.7	208.0	80.9	85.0	63.8	40.3	33.4	39.6	39.7	24.7
	8/23	230.2	59.2	126.6	89.3	70.1	91.7	63.3	38.5	30.5	34.4	46.4	23.3
	10/25	131.0	76.4	128.2	38.5	71.4	94.5	61.6	37.7	30.2	35.0	39.7	23.9
	12/6	245.3	73.6	130.5	25.0	77.2	102.8	59.7	118.2	30.3	35.8	41.8	23.0
	average	169.0	65.2	102.3	90.2	74.9	93.5	62.1	58.7	31.1	36.2	41.9	23.7

Table 10. The Results of Water Quality at Each Streams

Item	Date	Sanji	Oedo	Ongpo	Chango	Devasu	Yerae	Jungmun	Gangjeong	Ak
Biochemical Oxygen Demand (BOD, mg/L)	5/26	0.8	0.8	2.1	0.3	0.9	1.6	1.1	0.6	0
	8/23	0.2	0.7	0.2	1.7	0.8	1.0	1.0	0.6	0
	10/25	0.2	0.7	0.2	1.5	0.8	1.0	1.0	0.6	0
	12/6	0.1	0.9	0.2	0.7	0.4	0.6	0.4	0.4	0
average		0.3	0.8	0.7	1.0	0.7	1.1	0.9	0.6	0
Chemical oxygen demand (COD, mg/L)	5/26	1.0	0.4	1.0	1.9	1.4	1.2	0.8	0.2	0
	8/23	0.5	0.2	0.5	1.3	0.8	0.6	0.3	0.1	0
	10/25	0.5	0.2	0.5	1.3	0.8	0.6	0.3	0.1	0
	12/6	0.4	0.9	0.2	0.7	0.4	0.7	0.4	0.4	0
average		0.6	0.4	0.5	1.3	0.8	0.8	0.4	0.2	0
Suspended solids (SS, mg/L)	5/26	0.5	1.0	1.5	2.4	4.2	1.8	0.7	0.4	0
	8/23	0.023	0.009	0.024	0.045	0.027	0.017	0.026	0.016	0
	10/25	0.023	0.009	0.024	0.045	0.027	0.017	0.026	0.016	0
	12/6	0.022	0.007	0.053	0.017	0.013	0.014	0.005	0.012	0
average		0.1	0.3	0.4	0.6	1.1	0.5	0.2	0.1	0
Total Phosphorus (T-P, mg/L)	5/26	0.06	0.06	0.08	0.12	0.05	0.07	0.02	0.08	0
	8/23	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.02	0.02	0.02	0
	10/25	0.05	0.002	0.09	0.06	0.06	0.04	0.03	0.06	0
	12/6	0.14	0.13	0.13	0.28	0.25	0.11	0.11	0.10	0
average		0.07	0.05	0.08	0.13	0.10	0.06	0.04	0.07	0

## 1.2. 수소이온농도(pH)

연구대상하천의 수소이온농도(pH)의 범위는 pH 7.1 ~ 8.7로 조사되었으며, 각 하천별 년 최저, 최대값 범위는 산지천 pH 7.2 ~ 8.0이며 평균은 7.5, 외도천 pH 7.5 ~ 8.0이며 평균은 7.7, 옹포천 pH 7.9 ~ 8.7이며 평균은 8.2, 창고천 pH 7.5 ~ 7.8이며 평균은 7.7, 대왕수천 pH 8.3 ~ 8.7이며 평균은 8.5, 예래천 pH 8.3 ~ 8.7이며 평균은 8.5, 중문천 pH 8.3 ~ 8.5이며 평균은 8.3, 강정천 pH 7.1 ~ 7.7이며 평균은 7.4, 약근천 pH 8.1 ~ 8.5이며 평균은 8.4, 연외천 pH 7.4 ~ 7.9이며 평균은 7.7, 동홍천 pH 7.1 ~ 7.6이며 평균은 7.3, 효돈천 pH 7.3 ~ 8.3이며 평균은 7.8로 나타났다. 하천환경 수질기준 중 생활환경 기준에 수소이온농도 기준은 Ia에서 III등급까지 6.5 ~ 8.5로 되어 있다. Fig.4를 보면 서귀포시 지역 창고천, 예래천, 동홍천의 경우 기준치를 약간 초과하는 경향을 보이기도 하였다. 본 연구대상과 같은 유역에서 강우 시 수질조사가 이루어진 연구로는 Hyun et al<sup>28)</sup>연구에서 산지천의 pH 7.5, 외도천은 7.4로 비슷한 양상을 보였다. Cho<sup>29)</sup>의 연구에서는 옹포천의 평균 pH가 8.0, 창고천은 7.8, 동홍천은 7.2, 연외천은 7.6으로 비슷한 농도값을 보였다.

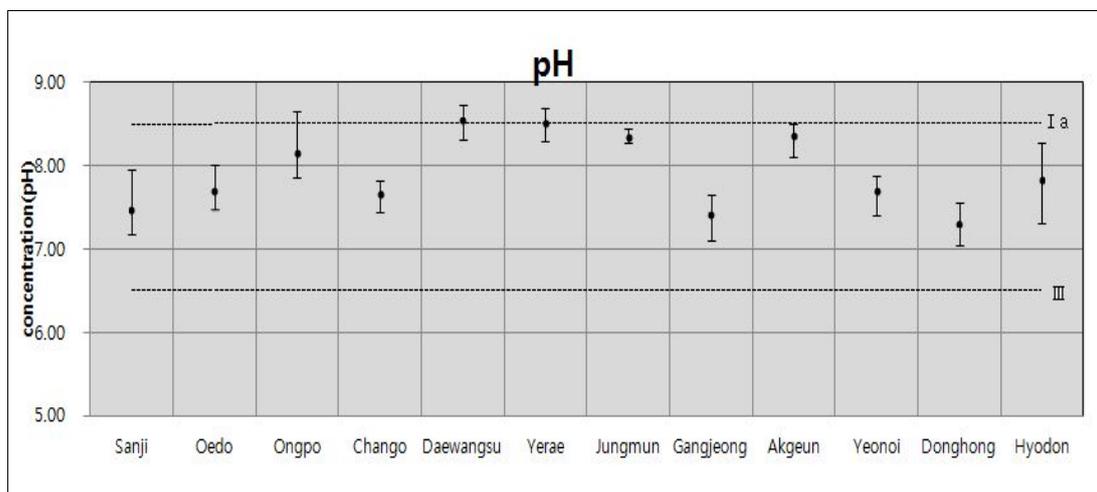


Fig. 4. The Annual Variations of pH at Each Streams in Jeju Island.

### 1.3. 용존산소(DO)

연구대상하천의 용존산소(DO)의 범위는 7.0 ~ 14.9 mg/L 조사되었으며, 각 하천별 년 최저, 최대값 범위는 산지천이 7.0 ~ 9.3 mg/L이며 평균은 8.3 mg/L, 외도천 9.3 ~ 11.0 mg/L이며 평균은 10.2 mg/L, 옹포천 9.0 ~ 11.4 mg/L이며 평균은 10.2 mg/L, 창고천 8.6 ~ 10.9 mg/L이며 평균은 9.8 mg/L, 대왕수천 8.7 ~ 11.3 mg/L이며 평균은 10.1 mg/L, 예래천 10.1 ~ 14.9 mg/L이며 11.8 mg/L, 중문천 9.6 ~ 11.4 mg/L이며 평균은 10.3 mg/L, 강정천은 9.3 ~ 9.9 mg/L이며 평균은 9.6 mg/L, 약근천 9.6 ~ 10.9 mg/L이며 10.2 mg/L, 연외천은 9.8 ~ 10.4 mg/L이며 평균은 10.1 mg/L, 동홍천 8.4 ~ 9.8 mg/L이며 평균은 9.4 mg/L, 효돈천 8.1 ~ 11.5 mg/L이며 평균은 9.6 mg/L로 나타났다. 하천환경 수질기준 중 생활환경 기준에 수소이온농도 기준은 Ib 등급이 5 mg/L이상으로 되어 있다. 분석결과를 Fig. 5에서 보면, 제주지역 대부분의 유수하천이 등급기준이 매우 좋음에 해당하는 Ia 등급을 보였다. Cho(1998)의 연구에서 옹포천의 평균 용존산소(DO)는 8.4 mg/L, 창고천은 7.1 mg/L, 연외천은 8.9 mg/L, 동홍천은 8.4 mg/L로 본 연구의 용존산소(DO) 농도의 값이 높게 나타났다.

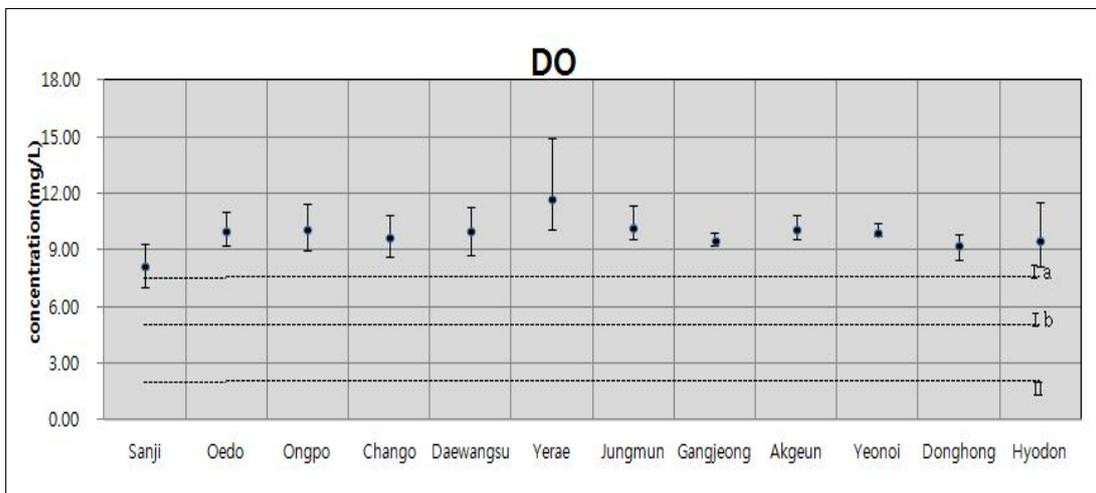


Fig. 5. The Annual Variations of DO at Each Streams in Jeju Island.

#### 1.4. 전기전도도(EC)

연구대상하천의 전기전도도(EC)의 범위는 48.8 ~ 552.7  $\mu\text{s}/\text{cm}$  조사되었고, 각 하천별 최저치, 최대값 범위는 산지천은 144.6 ~ 312.4  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 이며 평균은 234.5  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , 외도천 109.6 ~ 155.2  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 이며 평균은 135.9  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , 옹포천 257.0 ~ 552.7  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 이며 평균은 334.7  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , 창고천 72.1 ~ 302.0  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 이며 평균은 169.6  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , 대왕수천 147.3 ~ 169.0  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 이며 평균은 157.4  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , 예래천 179.7 ~ 216.3  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 이며 평균은 196.9  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , 중문천 129.7 ~ 315.5  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 이며 평균은 178.2  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , 강정천은 76.0 ~ 83.6  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 이며 평균은 80.7  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , 약근천 64.5 ~ 71.1  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 이며 평균은 66.2  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , 연외천은 74.3 ~ 84.4  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 이며 평균은 77.4  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , 동흥천 83.7 ~ 102.5  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 이며 평균은 92.0  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , 효돈천 48.8 ~ 53.1  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 이며 평균은 50.7  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 로 나타났다. 효돈천이 가장 낮은 48.8  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , 옹포천이 552.7  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 으로 높은 값을 보였다. 전기전도도는 전기가 통하기 쉬운 정도를 나타내는 값으로 이온의 농도 외에 전극 사이의 거리, 전극의 단면적, 이온의 전하크기 온도 등에 의해 영향을 받는다. Hyun et al(2013)연구에서 강우시 산지천의 평균 전기전도(EC)는 227.7  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , 본 연구조사 수치보다는 다소 낮은 결과를 보였으며, 외도천은 116.3  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 로 비슷하게 나타났다. Lim<sup>30)</sup>의 연구에서는 강우시 한천의 전기전도도(EC) 29.7 ~ 30.5  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , Park, Moon<sup>31)</sup>이 강우시 조사결과 11.0 ~ 19.0  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 로 나타나 본 연구 범위보다 낮은 수치를 보였다.

## 1.5. 총용존고형물(TDS)

연구대상하천의 총용존고형물(TDS)의 범위는 23.0 ~ 245.3 mg/L 조사되었고, 각 하천별 최저, 최대값 범위는 산지천이 69.4 ~ 245.3 mg/L이며 평균은 169.0 mg/L, 외도천 51.5 ~ 76.4 mg/L이며 평균은 65.2 mg/L, 옹포천 23.7 ~ 130.5 mg/L이며 평균은 102.3 mg/L, 창고천 25.0 ~ 208.0 mg/L이며 평균은 90.2 mg/L, 대왕수천 70.1 ~ 80.9 mg/L이며 평균은 74.9 mg/L, 예래천 85.0 ~ 102.8 mg/L이며 평균은 93.5 mg/L, 중문천 59.7 ~ 63.8 mg/L이며 평균은 62.1 mg/L, 강정천은 37.7 ~ 118.2 mg/L이며 평균은 58.7 mg/L, 약근천 30.2 ~ 33.4 mg/L이며 평균은 31.1 mg/L, 연외천은 34.4 ~ 39.6 mg/L이며 평균은 36.2 mg/L, 효돈천 23.0 ~ 24.7 mg/L이며 평균은 23.7 mg/L로 나타났다. 효돈천이 23.0 mg/L로 가장 낮은 값을 보였고, 산지천이 가장 높은 245.3 mg/L 값을 보였다. Lim(2013), Park, Moon(2010)이 강우시 한천유역에서 조사된 TDS은 13.9 ~ 14.3 mg/L, 5.3 ~ 9.3 mg/L로 나타나 본 연구 평균범위보다 낮은 수치를 보였다.



## 1.6. 생물학적산소요구량(BOD)

연구대상하천의 생물학적산소요구량(BOD)의 범위는 0.1 ~ 2.1 mg/L로 나타났고, 각 하천별 최저, 최대값 범위는 산지천이 0.1 ~ 2.0 mg/L이며 평균은 0.3 mg/L, 외도천 0.7 ~ 0.9 mg/L이며 평균은 0.8 mg/L, 옹포천 0.2 ~ 2.1 mg/L이며 평균은 0.7 mg/L, 창고천 0.3 ~ 1.7 mg/L이며 평균은 1.0 mg/L, 대왕수천 0.4 ~ 0.9 mg/L이며 평균은 0.7 mg/L, 예래천 0.4 ~ 0.9 mg/L이며 평균은 1.1 mg/L, 중문천 0.4 ~ 1.1 mg/L이며 평균은 0.9 mg/L, 강정천은 0.4 ~ 0.6 mg/L이며 평균은 0.6 mg/L, 약근천 0.6 ~ 0.8 mg/L이며 평균은 0.7 mg/L, 연외천은 0.6 ~ 1.0 mg/L이며 평균은 0.8 mg/L, 동홍천 0.2 ~ 0.7 mg/L이며 평균은 0.4 mg/L, 효돈천 0.2 ~ 0.5 mg/L이며 평균은 0.3 mg/L로 나타났다. 하천환경 수질 기준 중 생활환경 기준 Ia 등급에 대부분의 하천이 해당되었고, 옹포천의 경우 변화폭이 크게 나타났는데, 5월(춘계) 현장조사 시 하천에 녹조류가 많이 발생해 있었으며, 이러한 영향으로 인해 BOD가 증가한 것으로 사료된다. 옹포천이 2.1 mg/L 값이 가장 높았으며, 산지천이 0.1 mg/L 가장 낮은 값을 보였다. Park, Moon(2010) 연구에서 강우시 한천유역의 생물화학적산소요구량(BOD) 범위는 0.1 ~ 0.3 mg/L를 보여 본 연구보다 낮게 나타났다. Cho(1998)의 연구에서 옹포천의 평균 BOD는 1.6 mg/L, 창고천은 2.0 mg/L, 연외천은 1.5 mg/L, 동홍천은 1.5 mg/L로 본 연구의 값보다 다소 높은 결과를 보였다.

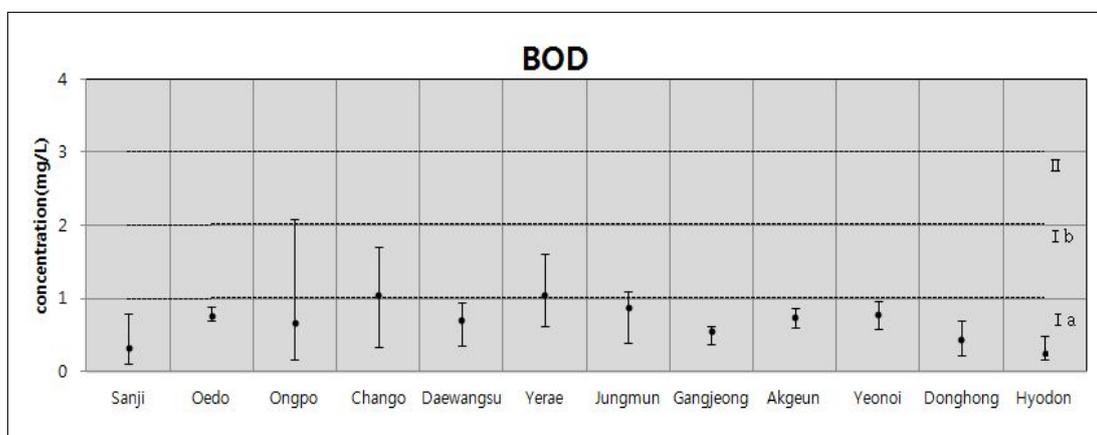


Fig. 6. The Annual Variations of BOD at Each Streams in Jeju Island.

## 1.7. 화학적산소요구량(COD)

연구대상하천의 화학적산소요구량(COD)의 범위는 0.1 ~ 1.9 mg/L로 나타났고, 각 하천별 최저값, 최대값을 보면 산지천이 0.4 ~ 0.5 mg/L이며 평균은 0.6 mg/L, 외도천 0.2 ~ 0.9 mg/L이며 평균은 0.4 mg/L, 옹포천 0.2 ~ 1.0 mg/L이며 평균은 0.5 mg/L, 창고천 0.7 ~ 1.9 mg/L이며 평균은 1.3 mg/L, 대왕수천 0.4 ~ 1.4 mg/L이며 평균은 0.8 mg/L, 예래천 0.6 ~ 1.2 mg/L이며 평균은 0.8 mg/L, 중문천 0.3 ~ 0.8 mg/L이며 평균은 0.4 mg/L, 강정천은 0.1 ~ 0.4 mg/L이며 평균은 0.2 mg/L, 약근천 0.3 ~ 0.9 mg/L이며 평균은 0.5 mg/L, 연외천은 0.2 ~ 0.7 mg/L이며 평균은 0.4 mg/L, 동홍천 0.1 ~ 0.6 mg/L이며 평균은 0.4 mg/L, 효돈천 0.5 ~ 0.8 mg/L이며 평균은 0.6 mg/L로 나타났다. 생활환경 기준에 적용한 Fig. 7에서 보면, 대상하천 대부분이 하천환경기준 중 생활하천 기준 Ia 등급에 해당하는 결과 값을 보였다. 창고천 1.9 mg/L로 COD값이 가장 높았으며, 강정천, 동홍천이 0.1 mg/L 가장 낮은 값을 보였다. Hyun et al(2013) 연구에서 강우시 산지천의 평균 생물화학적산소요구량(COD)은 1.1 mg/L, 외도천은 1.1 mg/L로 농도가 비슷하게 나타났다. Park, Moon(2010) 연구에서 강우시 한천의 COD는 2.8 ~ 3.6 mg/L로 나타났으며, Cho(1998) 연구에서 옹포천의 평균 COD는 2.0 mg/L, 창고천은 4.6 mg/L, 연외천은 1.9 mg/L, 동홍천은 2.0 mg/L로 본 연구의 COD 결과값도 다소 높은 결과를 보였다.

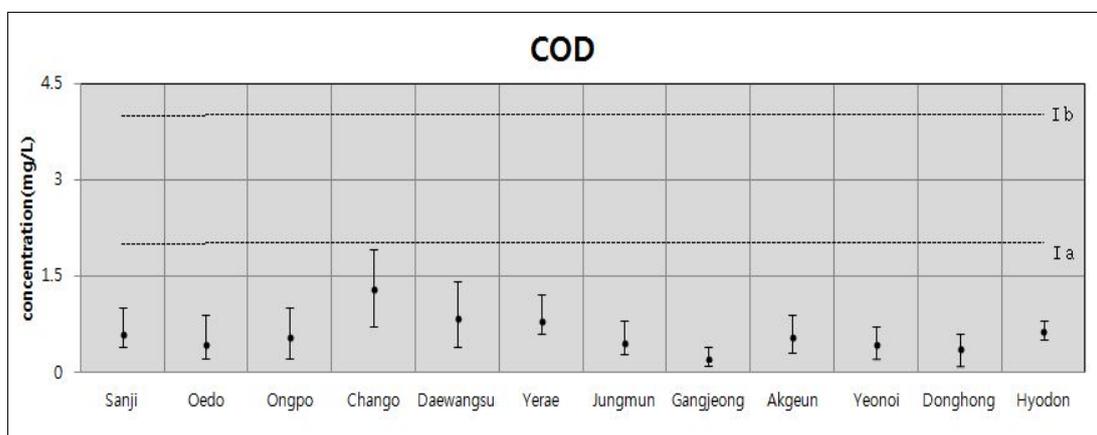


Fig. 7. The Annual Variations of COD at Each Streams in Jeju Island.

## 1.8. 부유물질(SS)

연구대상하천의 부유물질(SS)의 범위는 0.005 ~ 4.2 mg/L로 나타났고, 각 하천별 최저값, 최대값을 보면 산지천은 0.022 ~ 0.5 mg/L이며 평균은 0.1 mg/L, 외도천이 0.007 ~ 1.0 mg/L이며 평균은 0.3 mg/L, 옹포천은 0.024 ~ 1.5 mg/L이며 평균은 0.4 mg/L, 창고천 0.017 ~ 2.4 mg/L이며 평균은 0.6 mg/L, 대왕수천 0.013 ~ 4.2 mg/L이며 평균은 1.1 mg/L, 예래천 0.017 ~ 1.8 mg/L이며 평균은 0.5 mg/L, 중문천 0.005 ~ 0.7 mg/L이며 평균은 0.2 mg/L, 강정천은 0.012 ~ 0.4 mg/L이며 평균은 0.1 mg/L, 악근천 0.010 ~ 0.9 mg/L이며 평균은 0.2 mg/L, 연외천은 0.008 ~ 2.8 mg/L이며 평균은 0.7 mg/L, 동홍천 0.007 ~ 0.7 mg/L이며 평균은 0.2 mg/L, 효돈천 0.006 ~ 0.5 mg/L이며 0.1 mg/L로 측정되었다. 생활환경 기준에 적용한 분석결과에서 Fig. 8에 보면, 대상하천 대부분이 하천환경기준 중 생활하천 기준 Ia 등급에 해당하는 결과 값을 보였다. 대왕수천 4.2 mg/L로 SS값이 가장 높았으며, 중문천이 0.005 mg/L로 가장 낮은 값을 보였다. Hyun et al(2013) 연구에서 강우시 산지천의 평균 부유물질(SS)은 1.1 mg/L, 외도천은 1.0 mg/L로 농도가 비슷하게 나타났으며, Park, Moon(2010) 연구에서는 강우시 하천의 유입되는 SS는 2.5 ~ 1.3 mg/L로 나타나 본 연구보다 매우 높은 농도를 보였다. Cho(1998)의 연구에서 옹포천 평균 SS는 3.8 mg/L, 창고천은 3.3 mg/L, 연외천은 1.4 mg/L, 동홍천은 1.6 mg/L로 본 연구의 SS 값과 비교했을 때 높은 양상을 보였다.

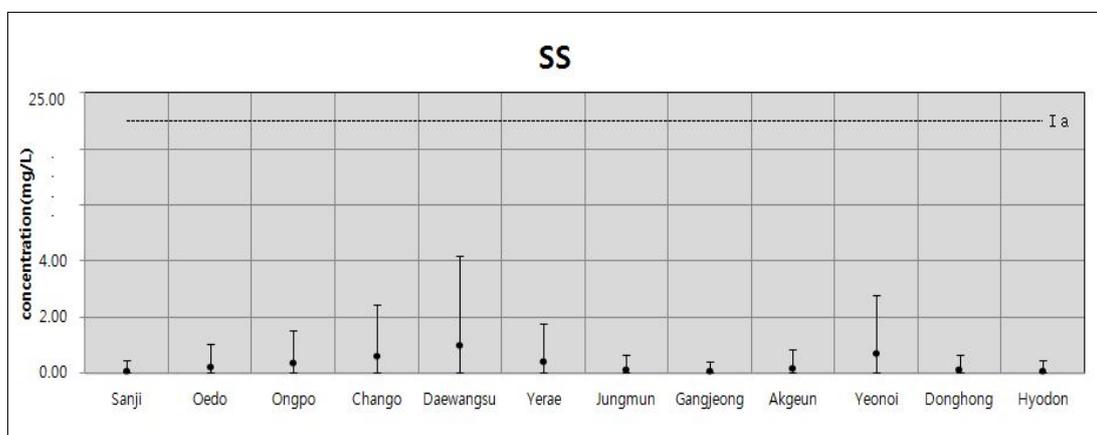


Fig. 8. The Annual Variations of SS at Each Streams in Jeju Island.

## 1.9. 총인(T-P)

연구대상하천의 총인(T-P)의 범위는 0.0024 ~ 0.3 mg/L 측정되었고, 각 하천별 최저값, 최대값을 보면 산지천이 0.03 ~ 0.14 mg/L이며 평균은 0.07 mg/L, 외도천 0.002 ~ 0.13 mg/L이며 평균은 0.05 mg/L, 옹포천 0.03 ~ 0.13 mg/L이며 평균은 0.08 mg/L, 창고천 0.04 ~ 0.28 mg/L이며 평균은 0.13 mg/L, 대왕수천 0.05 ~ 0.25 mg/L이며 평균은 0.10 mg/L, 예래천 0.02 ~ 0.11 mg/L이며 평균은 0.06 mg/L, 중문천 0.02 ~ 0.11 mg/L이며 평균은 0.04 mg/L, 강정천은 0.02 ~ 0.10 mg/L이며 평균은 0.07 mg/L, 약근천 0.01 ~ 0.1 mg/L이며 평균은 0.05 mg/L, 연외천은 0.02 ~ 0.11 mg/L이며 평균은 0.07 mg/L, 동홍천 0.002 ~ 0.11mg/L이며 평균은 0.03 mg/L, 효돈천 0.02 ~ 0.1 mg/L이며 평균은 0.05 mg/L로 측정되었다. 생활환경 기준에 적용한 분석결과에서 Fig. 9에 보면, 대상하천 대부분이 하천환경기준 중 생활하천 기준 Ia ~ II등급에 해당하는 결과 값을 보였으나, 창고천과 대왕수천은 다소 높은 값을 보이기도 하였다. 창고천 0.28 mg/L T-P값이 가장 높았으며, 외도천, 동홍천이 0.024 mg/L 가장 낮은 값을 보였다. Hyun et al(2013) 연구에서 강우시 산지천의 평균 총인(T-P)은 0.1 mg/L, 외도천은 0.06 mg/L로 농도가 비슷하게 나타났다. Park, Moon(2010) 연구에서는 강우시 한천의 유입되는 T-P는 0.0 ~ 0.1 mg/L 로 나타나 본 연구와 비슷한 결과를 보였다. Cho(1998) 연구에서 옹포천 평균 T-P는 0.11 mg/L, 창고천은 0.23 mg/L, 연외천은 0.08 mg/L, 동홍천은 0.09 mg/L로 옹포천과 창고천은 본 연구의 결과보다 다소 높았으며, 창고천과 연외천은 낮은 결과를 보였다.

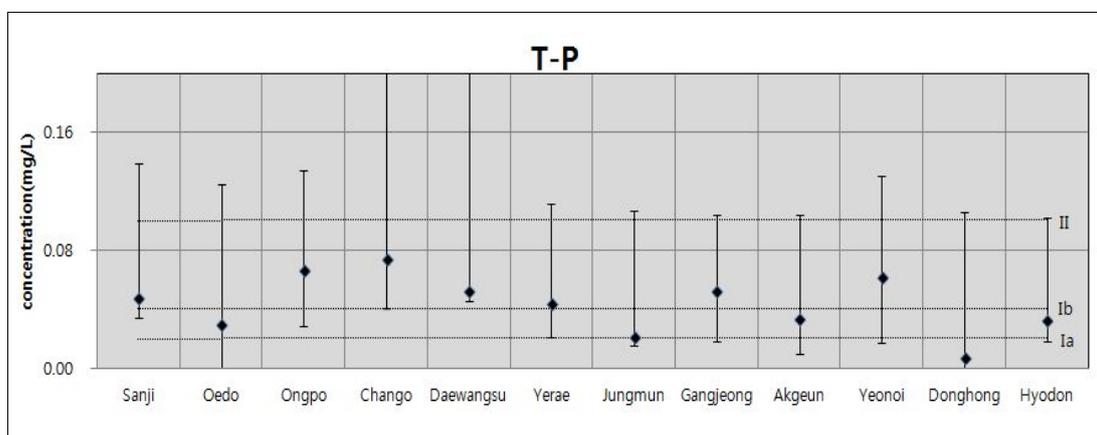


Fig. 9. The Annual Variations of T-P at Each Streams in Jeju Island.

## 2. 오염원 산정 결과

### 2.1. 점오염원 산정 결과

#### 2.1.1. 하천별 수리 특성

본 연구대상인 제주지역 유수하천 제주시 3개소, 서귀포시 9개소 총 12개소 중 하천유역의 유량을 산정하기 위한 유속자료와 단면도 자료가 없는 산지천, 대왕수천, 효돈천을 제외한 나머지 9개소의 유역에 대한 점오염원을 산정하였다.

점오염부하량의 산정은 Fig. 10에 제시되어 있는 각 하천별 유역의 단면적과 Table 11에 제시된 현장조사 5월, 8월, 10월 12월에 유속계로 측정된 각 하천별 유속자료의 곱하여 Table 12와 같이 각 하천별로 현장조사 일시에 맞는 유량을 계산하였으며, 계산된 유량자료와 수질자료의 곱으로 점오염원 부하량을 산정하였다. 각 하천별 점오염원 부하량의 산정값은 Table 13과 같이 제시하였다.

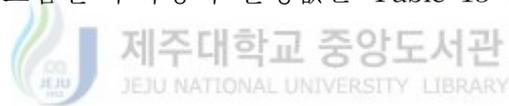


Table 11. Velocity of Flow Each Streams

(unit : m/sec)

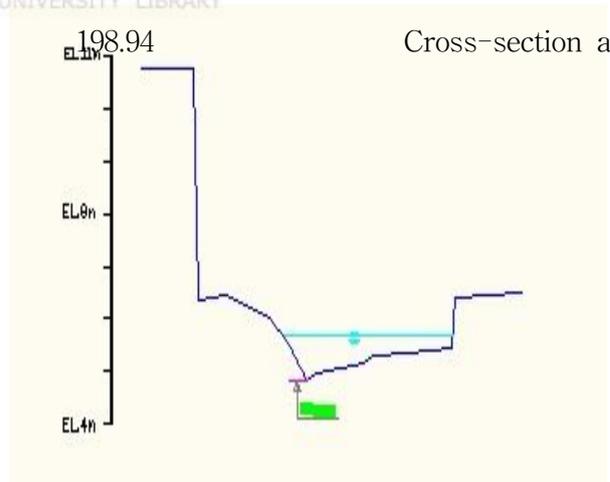
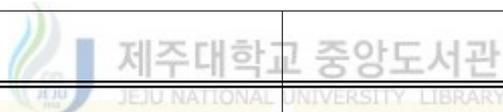
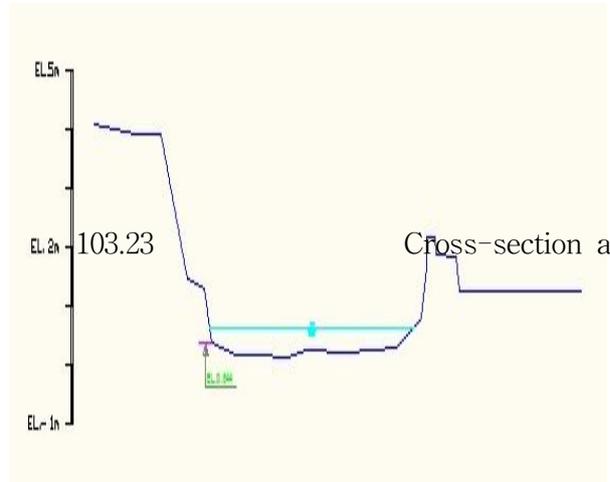
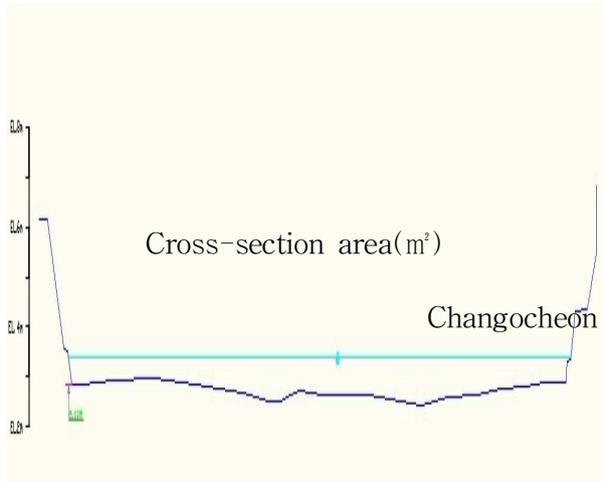
Date	Oedo cheon	Ongpo cheon	Chango cheon	Yerae cheon	Jungmun cheon	Gangjeong cheon	Akgeun cheon	Yeonoi cheon	Donghong cheon
2013.05.26	0.20	0.15	0.10	0.19	0.21	0.23	0.19	0.19	0.08
08.23	0.17	0.13	0.07	0.07	0.16	0.13	0.20	0.17	0.13
10.25	0.17	0.13	0.12	0.10	0.12	0.13	0.18	0.13	0.07
12.06	0.21	0.17	0.18	0.08	0.17	0.20	0.22	0.10	0.10

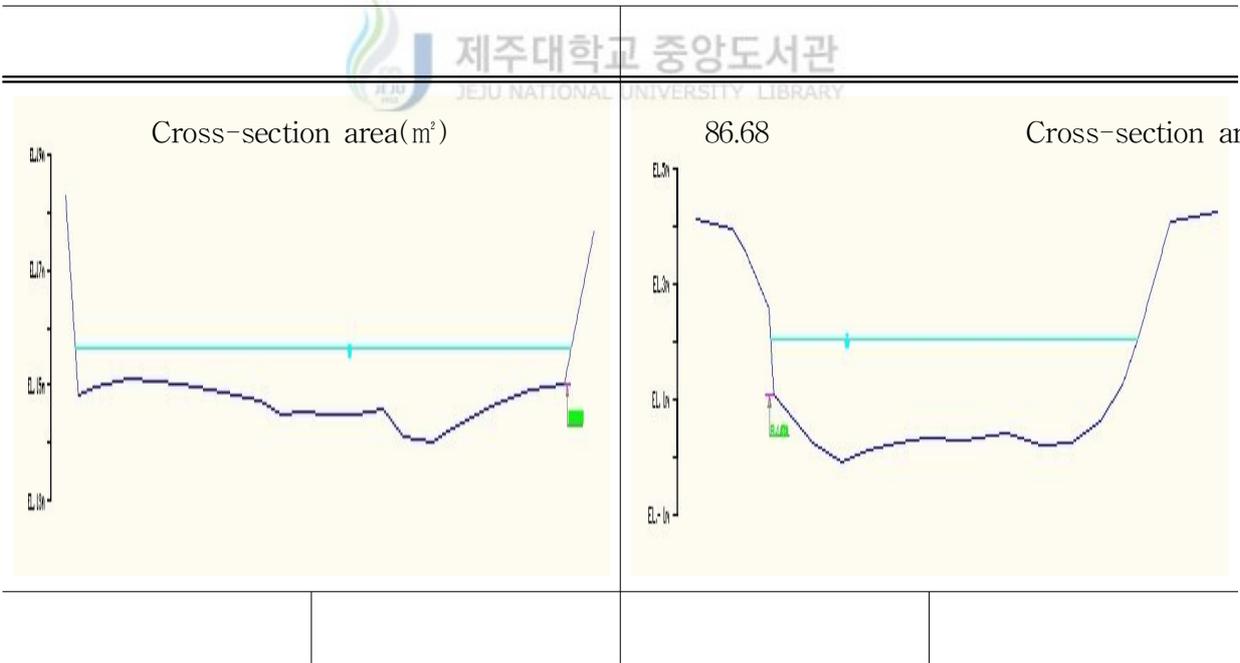
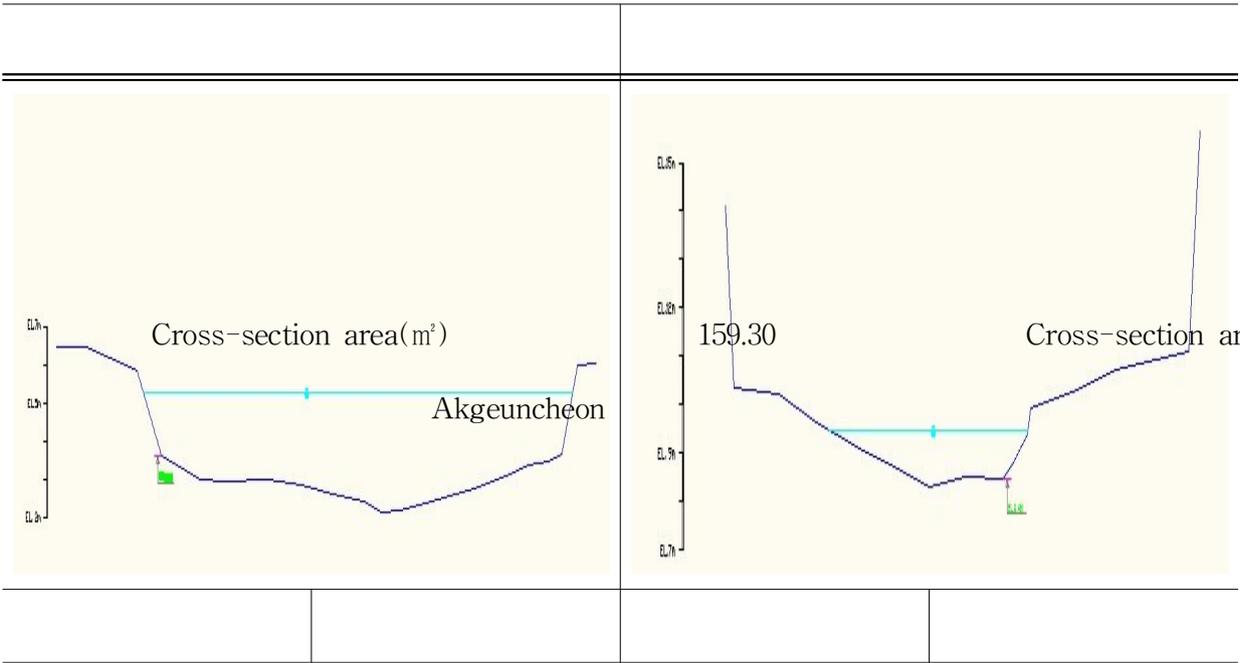
Table 12. The results of Discharge at Each Streams

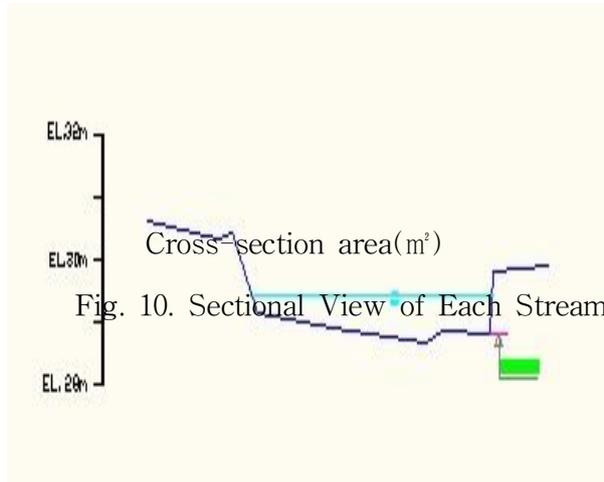


(unit : m<sup>3</sup>/day)

Date	Oedo cheon	Ongpo cheon	Chango cheon	Yerae cheon	Jungmun cheon	Gangjeong cheon	Akgeun cheon	Yeonoi cheon	Donghong cheon
2013.05.26	20.65	4.73	19.89	1.68	33.45	7.93	16.56	15.12	1.00
08.23	17.24	3.97	13.01	0.62	25.49	4.36	17.34	13.30	1.75
10.25	17.82	3.99	24.63	0.89	19.12	4.38	15.77	10.49	0.94
12.06	21.68	5.40	35.45	0.71	27.08	6.89	19.07	8.23	1.36







13.04

### 2.1.2. 점오염부하량 산정

점오염부하량 산정 결과 생물화학적산소요구량(BOD) 부하량의 범위는 0.21 ~ 36.94 kg/day, 화학적산소요구량(COD) 0.09 ~ 37.80 kg/day, 부유물질(SS) 0.01 ~ 48.34 kg/day, 총인 0.002 ~ 10.01 kg/day로 나타났다. 국내에서 연구된 형산강유역<sup>32)</sup>의 오염부하량 산정 결과 BOD 31.07 kg/day, COD 41.40 kg/day, SS 63.68 kg/day, T-P 1.63 kg/day로 나타났으며, 또한 Roh(2006) 연구에서는 황성호 유역의 BOD범위는 11.38 ~ 143.31 kg/day, COD 21.59 ~ 477.23 kg/day, SS 15.90 ~ 1368.92 kg/day, T-P 0.51 ~ 2.78 kg/day로 나타났다. 문헌자료 결과는 본 연구에서 산정한 제주지역의 우수하천의 오염부하량 산정결과 보다 다소 높은 경향을 보였다. 원인으로는 제주지역의 우수하천이 용천수로 기인한 하천으로 본래의 수질이 깨끗하기 반영된 결과라 사료되며, 또한, 지역적인 특성을 반영하여 상이한 결과가 도출되었다고 판단된다. 전체적으로 제주지역 우수하천별 오염원의 농도 형태를 보면 유량에 변화에 따라 증가와 감소가 달리 나타났으며, 수질을 조사한 결과로는 계절적으로 많은 차이를 보이지 않았으나 점오염부하량을 산정한 결과를 분석해 보면 유량의 영향을 받아 나타난 것으로 사료된다.

외도천의 생물화학적산소요구량(BOD) 부하량의 범위는 12.07 ~ 19.08 kg/day, 화학적산소요구량(COD)은 3.55 ~ 19.51 kg/day, 부유물질(SS)은 0.15 ~ 21.27 kg/day, 총 인(T-P)은 0.04 ~ 2.71 kg/day 범위로 나타났다.

옹포천의 생물화학적산소요구량(BOD) 부하량의 범위는 0.83 ~ 9.83 kg/day, 화학적산소요구량(COD)은 1.08 ~ 4.73 kg/day, 부유물질(SS)은 0.10 ~ 7.18 kg/day, 총 인(T-P)은 0.12 ~ 0.38 kg/day 범위로 나타났다.

창고천의 생물화학적산소요구량(BOD) 부하량의 범위는 6.56 ~ 36.94 kg/day, 화학적산소요구량(COD)은 16.96 ~ 37.80 kg/day, 부유물질(SS)은 0.59 ~ 48.34 kg/day, 총 인(T-P)은 0.53 ~ 10.01 kg/day 범위로 나타났다.

예래천의 생물화학적산소요구량(BOD) 부하량의 범위는 0.45 ~ 2.69 kg/day, 화학적산소요구량(COD)은 0.50 ~ 2.02 kg/day, 부유물질(SS)은 0.01 ~ 2.96 kg/day, 총 인(T-P)은 0.01 ~ 0.12 kg/day 범위로 나타났다.

중문천의 생물화학적산소요구량(BOD) 부하량의 범위는 10.56 ~ 36.80 kg/day,

화학적산소요구량(COD)은 5.73 ~ 26.76 kg/day, 부유물질(SS)은 0.50 ~ 21.74 kg/day, 총 인(T-P)은 0.38 ~ 2.89 kg/day 범위로 나타났다. 중문천은 계절별로 BOD의 발생이 상대적으로 다른 오염원 비해 많이 나타났다.

강정천의 생물화학적산소요구량(BOD) 부하량의 범위는 2.55 ~ 4.76 kg/day, 화학적산소요구량(COD)은 0.60 ~ 2.76 kg/day, 부유물질(SS)은 0.07 ~ 3.33 kg/day, 총 인(T-P)은 0.08 ~ 0.72 kg/day 범위로 나타났다. 강정천의 경우에는 BOD오염원이 상대적으로 높게 나타났으나, 다른 하천에 비해 오염원 농도가 낮았다.

약근천의 생물화학적산소요구량(BOD) 부하량의 범위는 10.10 ~ 16.59 kg/day, 화학적산소요구량(COD)은 4.73 ~ 17.16 kg/day, 부유물질(SS)은 0.18 ~ 14.24 kg/day, 총 인(T-P)은 0.35 ~ 1.98 kg/day 범위로 나타났다. 12월(하계) 오염원이 상대적으로 높았으며, COD와 BOD가 많이 차지하는 것으로 나타났다.

연외천의 생물화학적산소요구량(BOD) 부하량의 범위는 4.77 ~ 12.77 kg/day, 화학적산소요구량(COD)은 2.10 ~ 9.07 kg/day, 부유물질(SS)은 0.07 ~ 42.03 kg/day, 총 인(T-P)은 0.23 ~ 1.36 kg/day 범위로 나타났다. 5월(춘계)에 SS가 가장 높게 나타났으며, 계절적으로는 농도가 비슷한 경향을 보였다.

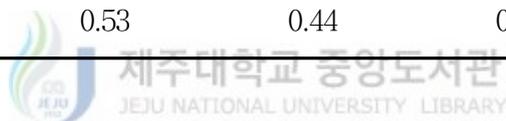
동홍천의 생물화학적산소요구량(BOD) 부하량의 범위는 0.21 ~ 0.82 kg/day, 화학적산소요구량(COD)은 0.09 ~ 0.82 kg/day, 부유물질(SS)은 0.01 ~ 0.65 kg/day, 총 인(T-P)은 0.002 ~ 0.014 kg/day 범위로 나타났다.

제주지역의 우수하천별 점오염원 부하량 산정한 결과를 항목별(BOD, COD, SS, T-P)로 비교하기 위해 Fig.11과 같이 제시하였다. 먼저 BOD의 산정범위는 2.1 ~ 220.4 mg/L로 나타났으며 중문천(220.4 mg/L) 산정 값이 가장 높았고, 동홍천(2.1 mg/L)이 가장 낮은 값을 보였다. COD의 산정범위는 1.7 ~ 259.4 mg/L로 나타났으며 창고천(259.4 mg/L)이 상대적으로 가장 높은 값을 보였고, 동홍천(1.7 mg/L)이 낮은 값을 보였다. SS의 산정범위는 0.7 ~ 239.7 mg/L로 나타났으며 창고천(239.7 mg/L)이 가장 높은 값을 보였고, 동홍천(0.7 mg/L)이 낮은 값을 보였다. T-P의 산정범위는 0.2 ~ 23.7 mg/L로 나타났으며 창고천(23.7 mg/L)이 가장 높은 값을 보였으며, 예래천, 동홍천(0.2 mg/L)이 가장 낮은 값을 보였다.

Table 13. Point source pollution loads at Each Streams

(unit : kg/day)

Streams	BOD	COD	SS	T-P
Oedocheon	14.88	8.72	5.43	1.13
Ongpocheon	3.11	2.43	1.92	0.39
Changocheon	22.26	27.90	12.66	3.60
Yeraecheon	1.16	0.86	0.75	0.06
Jungmuncheon	22.88	12.58	5.76	1.13
Gangjeongcheon	3.20	1.34	0.89	0.42
Akgeuncheon	12.88	9.44	3.95	0.91
Yeonoicheon	9.17	4.92	11.00	0.77
Donghongcheon	0.53	0.44	0.17	0.04



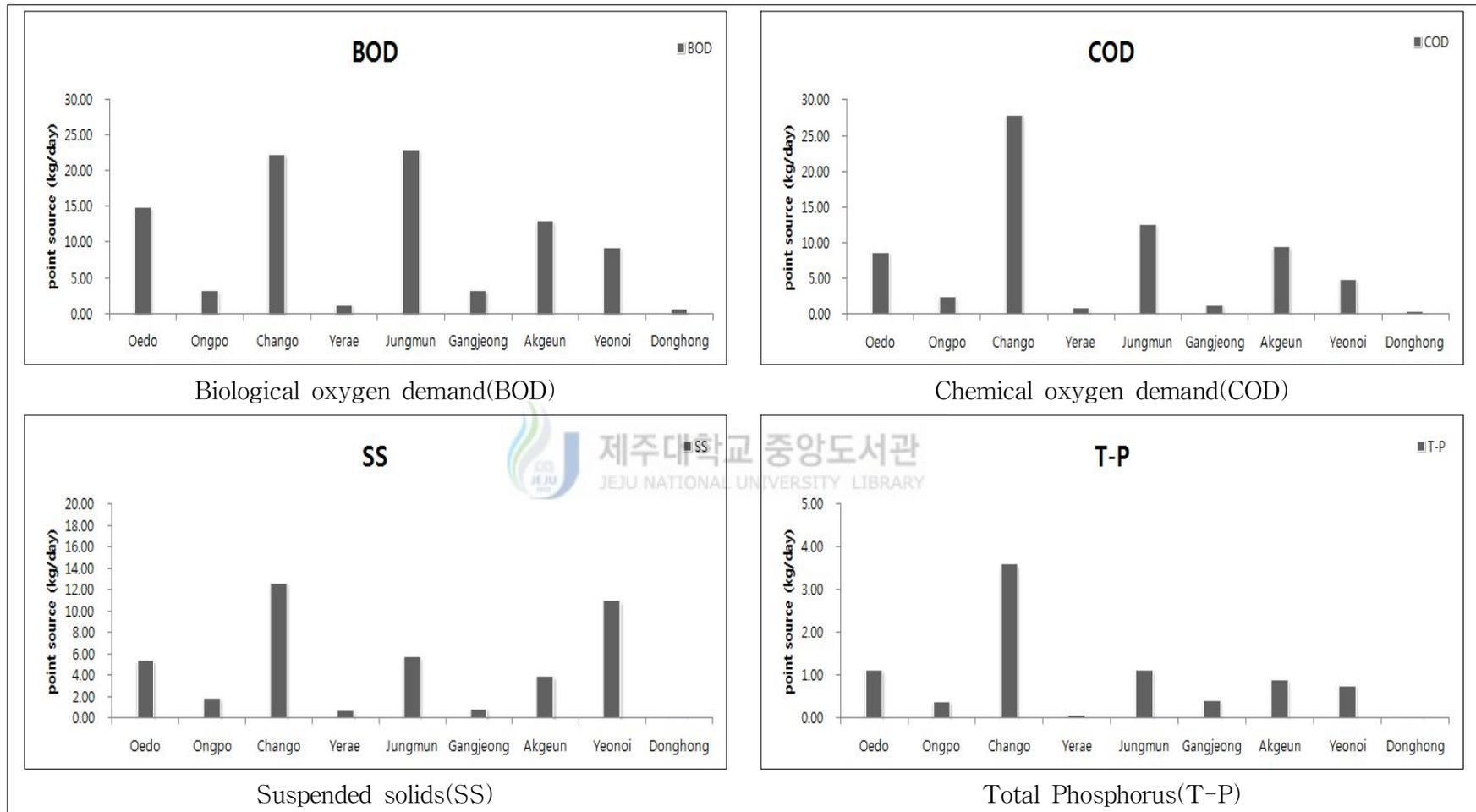


Fig. 11. Point source pollution loads graph at Each Streams.

## 2.2. 비점오염원 산정 결과

### 2.1.1. 하천별 유역의 토지이용

비점오염원 산정은 연구대상하천 각각의 유역을 도시, 밭, 산림, 상업지역, 공업지역, 도로 6개로 토지이용 형태로 분류된 면적을 Table 14에 제시하였으며. 제시된 면적과 본 연구에서 적용한 비점오염원 원단위의 곱으로 산정하였다.

### 2.1.2. 비점오염원 산정

제주지역 우수하천의 비점오염원 산정 결과 생물화학적산소요구량(BOD)의 범위는 20.1 ~ 64.1 kg/day, 화학적산소요구량(COD) 57.5 ~ 162.6 kg/day, 부유물질(SS) 176.7 ~ 617.7 kg/day, 총인 2.0 ~ 11.4 kg/day로 나타났다. 국내에서 연구된 Jeong(2009) 대전지역 갑천유역을 대상지점 4곳을 강우량에 따라 토지이용(밭, 논, 잡종지, 도시, 임야 등) 비점오염원 산정 결과 BOD 48.80 ~ 1,619 kg, COD 65.15 ~ 1,909.34 kg, SS 48.70 ~ 3,628.09 kg, T-P 2.00 ~ 78.24 kg으로 산정되었다. 강우량이 많아질수록 오염원 농도가 높게 증가하는 결과를 보였으며, 본 연구의 산정결과와 비교하여 볼 때 갑천유역의 비점오염원 결과가 매우 높았다. 이런 결과는 유역특성과 토지이용면적 및 비점오염원 원단위에 따라 달리 산정된 것으로 판단된다.

외도천의 토지이용 면적을 보면, 산림이 38,401,148 m<sup>2</sup>(86.3%)로 가장 많이 차지하였으며, 다음은 밭이 5,459,209 m<sup>2</sup>(12.3%)를 차지했다. 도시지역은 하류인 해안 쪽 인근에 형성되어 있으며 360,259 m<sup>2</sup> (0.8%)를 차지하였고, 도로는 280,789 m<sup>2</sup>(0.6%)를 차지하였다. 이 유역은 부유물질(SS)이 차지하는 양이 많았으며 특히, 산림에서의 오염원이 가장 많이 발생되었다. 토지이용률에서 볼 때 상대적으로 산림이 높은 비율을 보였다.

용포천의 토지이용 면적을 보면 산림이 12,581,132 m<sup>2</sup>(51.4%)로 가장 많이 차지하였으며, 다음은 밭이 9,009,870 m<sup>2</sup>(36.8%)를 차지했다. 상업지역은 1,422,554 m<sup>2</sup>

(5.8%), 도시지역은 유역 중·하류에 형성되어 있으며 984,457m<sup>2</sup>(4.0%)로 나타났다. 도로는 410,589 m<sup>2</sup>(1.7%), 공업지역은 53,474 m<sup>2</sup>(0.2%)를 보였다. 이 유역은 6가지 토지이용 분류중 상대적으로 상업지역에 화학적산소요구량(COD)와 부유물질(SS)이 높게 산정되었다. 원인규명을 위해 토지이용도 확인결과 옹포천 상류지역에 C골프장, A골프장이 위치해 있었으며, 옹포천 중류 인근에는 관광리조트, 관광숙박업 등이 위치해 있었다. 골프장에서의 화학적산소요구량(COD) 발생형태를 보면 자연초지는 유기물질의 유출이 많이 발생하는 반면, 인공초지(골프장)의 경우 농약, 비료 등의 살포로 인하여 자연에서 발생하는 물질에 난분해성 물질이 추가되어 유출이 발생된다고 연구된 바 있다.<sup>33)</sup>

창고천의 토지이용 면적을 보면 산림이 35,304,378 m<sup>2</sup>(75.3%)로 가장 많이 차지하였으며, 다음은 밭이 10,604,762 m<sup>2</sup>(22.6%)를 차지했다. 도시지역은 하류 인근에 형성되어 있으며 498,240 m<sup>2</sup>(1.1%)로 나타났으며, 도로는 405,741 m<sup>2</sup>(0.9%), 공업지역은 52,849 m<sup>2</sup>(0.1%)를 보였다. 이 유역의 비점오염원 발생형태를 보면 산림이 가장 많이 발생되었고, 도로, 밭, 도시 비슷한 결과로 산정되었다. 도로에서의 발생이 높은 이유는 원단위 값이 높아 오염원이 높게 산정된 것으로 사료된다.

예래천의 토지이용 면적을 보면 산림이 11,603,920 m<sup>2</sup>(69.7%)로 가장 많이 차지하였으며, 다음은 밭이 3,605,920 m<sup>2</sup>(21.7%)를 차지했다. 상업지역은 983,585 m<sup>2</sup>(5.9%), 도시지역은 162,347 m<sup>2</sup>(1.0%)로 나타났으며, 도로는 290,197 m<sup>2</sup>(1.7%), 공업지역은 6,906 m<sup>2</sup>(0.0%)를 보였다. 이 유역의 비점오염원 발생형태를 보면 상업지역에서 COD와 SS가 상당히 높은 발생을 보였는데 토지이용도를 살펴본 결과 하천 유역 하류부근에 J골프장과 관광단지시설이 위치해 있었다. 도시, 밭, 산림, 도로는 비슷한 결과를 보였다.

중문천의 토지이용 면적을 보면 산림이 24,985,004 m<sup>2</sup>(91.2%)로 가장 많이 차지하였으며, 다음은 밭이 1,738,562 m<sup>2</sup>(6.3%)를 차지했다. 상업지역은 300,012 m<sup>2</sup>(1.1%), 도시지역은 133,639 m<sup>2</sup>(0.5%)로 나타났으며, 도로는 250,571 m<sup>2</sup>(0.9%)를 보였다. 이 유역의 비점오염원 발생형태를 보면 인접 하천인 예래천과 마찬가지로 상업지역에서 COD와 SS가 상당히 높은 발생을 보였는데 유역하류에 천제연폭포 인근으로 하여 관광단지시설이 위치해 있으며, 호텔시설, 리조트 시설 등이 위치해 있다. 다음으로는 산림이 발생이 많았으며, 도로 도시 밭 순으로 발생형태를 보였다.

강정천의 토지이용 면적을 보면 산림이 31,565,770 m<sup>2</sup>(83.6%)로 가장 많이 차지하였으며, 다음은 밭이 5,714,273 m<sup>2</sup>(15.1%)로 나타났다. 도로는 307,184 m<sup>2</sup>(0.8%), 도시지역은 159,581 m<sup>2</sup>(0.4%)이며 공업지역은 9,604m<sup>2</sup>(0.0%)으로 차지하였다. 이 지역의 비점오염원 발생형태를 보면 6가지 분류중 산림에서의 COD와 SS가 가장 높았으며, 다음으로는 도로에서 SS와 COD가 높은 것으로 산정 되었다.

약근천의 토지이용 면적을 보면 산림이 16,183,926 m<sup>2</sup>(77.3%)로 가장 많이 차지하였으며, 다음은 밭이 4,570,319 m<sup>2</sup>(21.8%)로 나타났다. 도로는 105,018 m<sup>2</sup>(0.5%), 도시지역은 66,747 m<sup>2</sup>(0.3%)이며 공업지역은 11,503 m<sup>2</sup>(0.1%)으로 차지하였다. 이 지역의 비점오염원 발생형태를 보면 다른 타 하천과 마찬가지로 비슷하게 산림에서의 COD와 SS가 가장 높았으며, 다음으로는 도로와 밭 도시가 비슷한 발생을 보였다.

연외천의 토지이용 면적을 보면 산림이 10,453,105 m<sup>2</sup>(56.3%) 차지하였으며, 다음은 밭이 7,633,592 m<sup>2</sup>(41.4%)로 나타났다. 도로는 239,166 m<sup>2</sup>(1.3%), 도시지역은 203,148 m<sup>2</sup>(1.1%)이다. 공업지역은 44,091m<sup>2</sup>(0.2%)으로 나타났다. 이 지역의 비점오염원 발생형태를 보면 토지이용에서 도로의 부유물질(SS)의 발생이 상대적으로 높게 나타났으며, 다음은 밭, 산림, 도시 순으로 발생형태를 보였다. 또한 도로에서 부유물질의 높게 산정된 이유를 찾아보면 다른 타 지역과 비교해 볼 때 도로의 비율이 비교적 차지하는 부분이 많았으며, 산정에 사용되었던 원단위 값에 영향을 받아 높았던 것으로 판단된다.

동홍천의 토지이용 면적을 보면 산림이 5,398,839 m<sup>2</sup>(67.7%) 차지하였으며, 다음은 밭이 1,790,113 m<sup>2</sup>(22.5%)로 나타났으며, 도시지역은 633,156 m<sup>2</sup>(7.9%), 도로는 139,005 m<sup>2</sup>(1.7%), 상업지역은 8,165 m<sup>2</sup>(0.1%)로 나타났다. 이 지역의 비점오염원 발생형태를 보면 다른 타 지역의 하천과는 달리 도시에서의 COD와 SS에 발생이 특히 많았다. 그리고 도로에서 SS의 발생이 많았으며 산림, 밭 순으로 발생되는 형태를 보였다. 이처럼 도시의 발생이 상대적으로 높게 나타난 원인을 규명해 보면 토지이용률이 도시가 차지하는 비율이 많았으며, 도로가 차지하는 비율도 비교적 많아서 높게 산정된 것으로 사료된다.

제주지역의 우수하천별 비점오염원 산정결과를 항목별(BOD, COD, SS, T-P) 비교하기 위해 Fig.12와 같이 제시하였다. 먼저 BOD의 산정범위는 20.1 ~ 64.1

mg/L로 나타났으며 창고천(64.1 mg/L)이 산정 값이 가장 높았고, 동홍천(20.1 mg/L) 가장 낮은 값을 보였다. COD의 산정범위는 57.5 ~ 172.6 mg/L로 나타났으며 창고천(172.6 mg/L)이 가장 높은 값을 보였고, 동홍천( 57.5 mg/L)이 낮은 값을 보였다. SS의 산정범위는 134.2 ~ 617.7 mg/L로 나타났으며 창고천(617.7 mg/L)이 가장 높은 값을 보였고, 동홍천(134.2 mg/L)이 낮은 값을 보였다. T-P의 산정범위는 2.0 ~ 11.4 mg/L로 나타났으며 창고천(11.4 mg/L)이 가장 높은 값을 보였으며, 동홍천(2.0 mg/L)이 가장 낮은 값을 보였다.



Table 14. Land Use at Each Streams

Streams		urban	Farm	Forest	Commerce area	Industry area	Road	Total
Oedocheon	Area(m <sup>2</sup> )	360,258	5,459,209	38,401,148	0	1,015	280,788	44,502,418
	Ratio(%)	0.8	12.3	86.3	0	0	0.6	100
Ongpocheon	Area(m <sup>2</sup> )	984,457	9,009,870	12,581,132	1,422,554	53,474	410,589	24,462,076
	Ratio(%)	4	36.8	51.4	5.8	0.2	1.7	100
Changocheon	Area(m <sup>2</sup> )	498,240	10,604,762	35,304,378	18,904	52,849	405,741	46,884,873
	Ratio(%)	1.1	22.6	75.3	0	0.1	0.9	100
Yeraecheon	Area(m <sup>2</sup> )	162,347	3,605,412	11,603,920	983,585	6,906	280,197	16,642,368
	Ratio(%)	1	21.7	69.7	5.9	0	1.7	100
Jungmuncheon	Area(m <sup>2</sup> )	133,639	1,738,562	24,985,004	300,012	0	250,571	27,407,788
	Ratio(%)	0.5	6.3	91.2	1.1	0	0.9	100
Gangjeongcheon	Area(m <sup>2</sup> )	159,581	5,714,273	31,565,770	0	9,604	307,184	37,756,411
	Ratio(%)	0.4	15.1	83.6	0	0	0.8	100
Akgeuncheon	Area(m <sup>2</sup> )	66,747	4,570,319	16,183,926	0	11,503	105,018	20,937,514
	Ratio(%)	0.3	21.8	77.3	0	0.1	0.5	100
Yeonoicheon	Area(m <sup>2</sup> )	203,148	7,633,592	10,453,105	0	44,091	239,166	18,573,102
	Ratio(%)	1.1	41.1	56.3	0	0.2	1.3	100
Donghongcheon	Area(m <sup>2</sup> )	633,156	1,790,113	5,398,838	8,165	3,325	139,005	7,972,602
	Ratio(%)	7.9	22.5	67.7	0.1	0	1.7	100

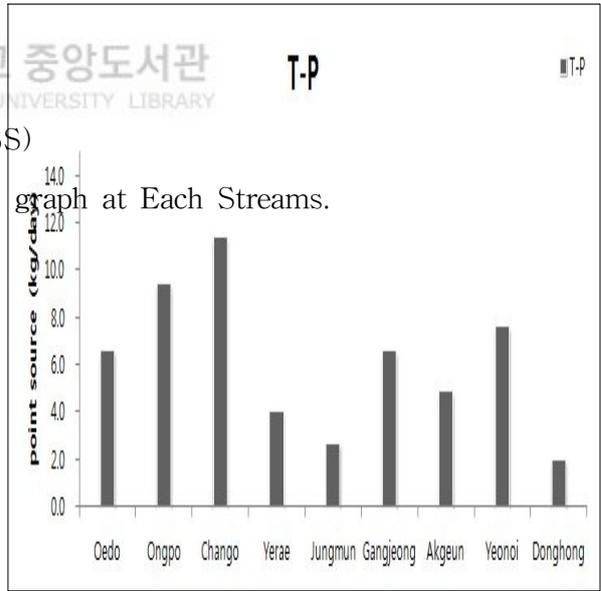
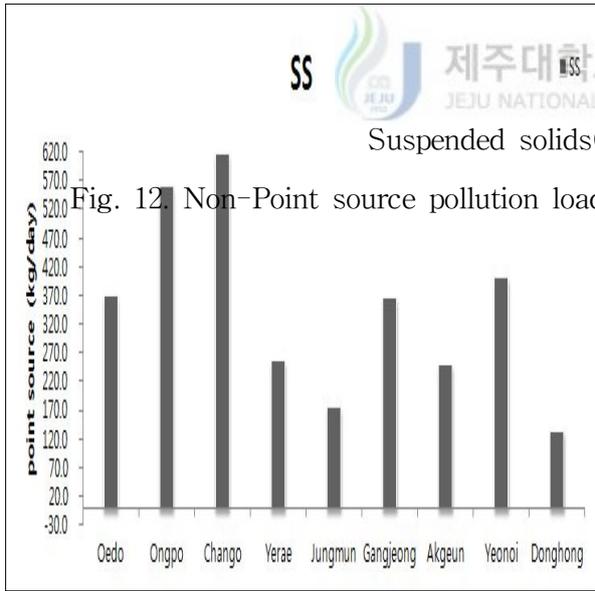
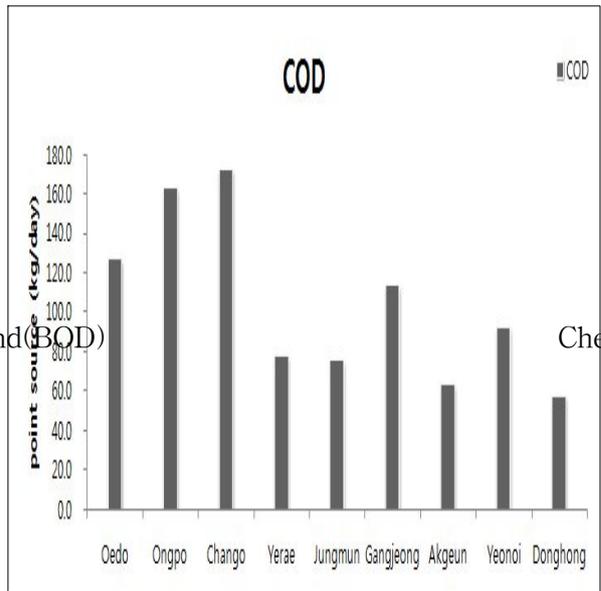
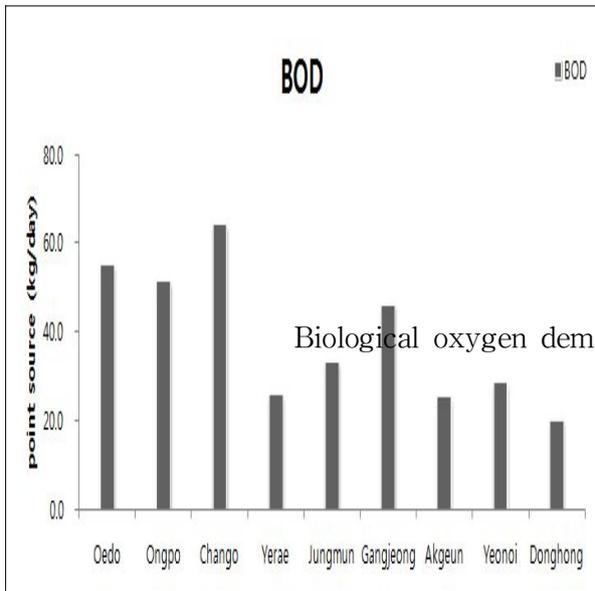


Fig. 12 Non-Point source pollution loads graph at Each Streams.

제주대학교 중앙도서관  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

### 2.3. 하천별 오염부하량 산정

본 연구대상인 제주지역 우수하천별 9개소 총 오염부하량을 유역별로 점오염원과 비점오염원의 산정된 결과의 합으로 계산하였고, 계산된 결과는 Table 15와 Fig. 13에 제시하였다.

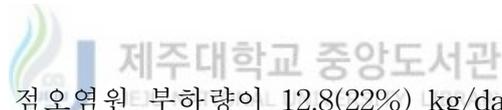
제주지역 우수하천별 총 오염부하량 계산된 결과를 보면 의도천의 BOD는 점오염원 부하량이 55.9(52%) kg/day, 비점오염원이 55.0(48%) kg/day로 점오염원 부하량이 4%를 더 많이 차지하였다. COD는 점오염원 부하량이 34.9(22%) kg/day, 비점오염원이 127.1(78%) kg/day로 비점오염원이 56%를 더 차지하였다. SS는 점오염원 부하량이 21.7(6%) kg/day, 비점오염원은 370.5(94%) kg/day로 비점오염원이 88%정도 더 많이 차지하는 것으로 나타났다. T-P의 경우 점오염원 부하량이 4.5(40%) kg/day, 비점오염원 6.6(60%) kg/day로 비점오염원이 20%를 더 많이 차지하는 것으로 나타났다.

용포천의 BOD는 점오염원 부하량이 12.4(20%) kg/day, 비점오염원이 51.3(80%) kg/day로 비점오염원이 차지하는 비중이 60%정도 많았으며, COD의 경우 점오염원 부하량은 9.7(6%) kg/day, 비점오염원은 162.6(94%) kg/day로 88%정도 비점오염원이 차지하는 비중이 높았다. SS는 점오염원 부하량이 7.7(1%) kg/day, 비점오염원이 560.3(99%) kg/day로 비점오염원이 차지하는 비중이 상대적으로 높았으며, T-P의 경우 점오염원 부하량이 1.6(14%) kg/day, 비점오염원이 9.4(86%) kg/day로 72%를 비점오염원이 더 많이 차지하였다.

창고천의 BOD는 점오염원 부하량이 89.0(58%) kg/day, 비점오염원이 64.1(42%) kg/day로 점오염원 부하량이 차지하는 비중이 16%정도 많았으며, COD의 경우 점오염원 부하량이 111.6(39%) kg/day, 비점오염원이 172.6(61%) kg/day로 비점오염원이 차지하는 비중이 22%정도 많았다. SS는 점오염원 부하량이 50.7(8%) kg/day, 비점오염원이 617.7(92%) kg/day로 84%정도 비점오염원이 상대적으로 많이 차지 하였으며, T-P의 경우에는 점오염원 부하량이 14.4(56%) kg/day, 비점오염원이 11.4(44%) kg/day로 점오염원이 12%정도 차지하는 비중이 많았다.

예래천의 BOD는 점오염원 부하량이 436(15%) kg/day, 비점오염원이 25.7(85%) kg/day로 70%로 비점오염원 차지하는 비중이 상대적으로 많았으며, COD의 경우 점오염원 부하량이 3.4(4%) kg/day, 비점오염원이 77.9(96%) kg/day로 상대적으로 비점오염원이 차지하는 비중이 높았다. SS는 점오염원 부하량이 3.0(1%) kg/day, 비점오염원이 257.3(99%) kg/day로 압도적으로 비점오염원이 차지하는 비중이 높았으며, T-P의 경우 점오염원 부하량이 0.2(6%) kg/day, 비점오염원이 4.1(94%) kg/day로 비점오염원이 차지하는 비중이 높았다.

중문천의 BOD는 점오염원 부하량이 91.5(73%) kg/day, 비점오염원이 33.2(27%) kg/day로 점오염원 부하량이 46%정도 더 많이 차지하는 것으로 나타났으며, COD의 경우 점오염원 부하량이 50.3(40%) kg/day, 비점오염원이 75.7(60%) kg/day로 비점오염원이 차지하는 비중이 20%더 높았다. SS는 점오염원 부하량이 23.0(12%)kg/day, 비점오염원이 176.7(88%) kg/day로 비점오염원이 차지하는 비중이 상대적으로 높았으며, T-P의 경우에는 점오염원 부하량이 4.5(63%) kg/day, 비점오염원이 2.7(37%)로 점오염원 부하량이 차지하는 비중이 높았다.



강정천의 BOD는 점오염원 부하량이 12.8(22%) kg/day, 비점오염원이 46.0(78) kg/day로 비점오염원이 차지하는 비중이 56%로 많았으며, COD는 점오염원 부하량이 5.4(5%) kg/day, 비점오염원이 113.4(95%) kg/day로 비점오염원이 상대적으로 차지하는 비중이(90%) 높았다. SS의 경우에는 3.6(1%) kg/day, 365.9(99%) kg/day로 비점오염원에서의 비중이 많이 높았으며, T-P의 경우 점오염원 부하량이 1.7(20%) kg/day, 6.6(80%) kg/day로 60% 가량 비점오염원이 높았다.

약근천의 BOD는 점오염원 부하량이 51.5(67%) kg/day, 비점오염원이 25.1(33%) kg/day를 차지해 점오염원 부하량이 34%정도 많이 차지하였다. COD는 점오염원 부하량이 37.8(37%) kg/day, 비점오염원이 63(63%) kg/day로 비점오염원이 차지하는 비중이 많은 것으로 나타났으며, SS는 점오염원 부하량이 15.8(6%) kg/day, 비점오염원이 250.9(94%) kg/day로 상대적으로 비점오염원이 차지하는 비중이 높았다. T-P의 경우 3.6(43%) kg/day, 비점오염원이 4.9(57%) kg/day로 비점오염원이 차지하는 비중이 많았으나 비슷한 경향을 보였다.

연외천의 BOD는 점오염원 부하량이 36.7(56%) kg/day, 비점오염원이 28.5(44%) kg/day로 점오염원 부하량이 12%정도 차지하는 비중이 많았으며, COD는 점오염원 부하량이 19.7(18%) kg/day, 비점오염원이 92.4(82%) kg/day로 비점오염원이 차지하는 비중이 상대적으로 높았다. SS는 점오염원 부하량이 44.0(10%) kg/day, 비점오염원이 401.9(90%) kg/day로 비점오염원이 많이 차지하는 것으로 나타났으며, T-P의 경우 점오염원 부하량이 3.1(29%) kg/day, 비점오염원 부하량이 7.6(71%) kg/day로 나타나 비점오염원이 42%정도 더 많이 차지하였다.

동홍천의 BOD는 점오염원 부하량이 2.1(9%) kg/day, 비점오염원이 20.1(91%) kg/day로 비점오염원이 차지하는 비중이 높았다. COD는 점오염원 부하량이 1.7(3%) kg/day, 비점오염원이 57.5(97%) kg/day로 비점오염원이 차지하는 비중이 상대적으로 많았으며, SS는 점오염원 부하량이 0.7(1%) kg/day, 비점오염원이 134.2(99%) kg/day로 비점오염원이 차지하는 비중이 많았다. T-P의 경우 점오염원 부하량이 0.2(8%) kg/day, 비점오염원이 2.0(92%) kg/day로 비점오염원이 많이 차지하는 것으로 나타났다. 제주지역의 유수하천별로 총 오염부하량을 계산한 값을 항목별(BOD, COD, SS, T-P)로 비교하기 위해 Fig.13과 같이 제시하였다. 먼저 BOD 점오염원 부하량과 비점오염원의 산정범위는 2.1 ~ 89.0 mg/L, 20.1 ~ 64.1 mg/L으로 창고천이 전체적으로 가장 높은 값을 나타냈고, 동홍천이 낮은 값을 보였다. COD의 점오염원 부하량, 비점오염원 산정범위는 1.7 ~ 111.6 mg/L, 57.5 ~ 172.6 mg/L으로 나타났으며 창고천이 가장 높았고 동홍천이 낮은 값을 보였다. SS의 점오염원 부하량, 비점오염원 산정범위는 0.7 ~ 50.7 mg/L, 134.2 ~ 617.7 mg/L로 나타났으며 창고천이 가장 높은 값을 보였고, 동홍천이 낮은 값을 보였다. T-P의 점오염원 부하량, 비점오염원 산정범위는 0.2 ~ 14.4 mg/L, 2.0 ~ 11.4 mg/L로 나타났으며 창고천이 가장 높은 값을 보였으며, 동홍천이 가장 낮은 값을 보였다.

Table 15. Point source and non-point source calculated sum of Each Streams

(unit : kg/day)

Streams	BOD			COD			SS			T-P		
	Point (%)	Non-P (%)	Total (%)	Point (%)	Non-P (%)	Total (%)	Point (%)	Non-P (%)	Total (%)	Point (%)	Non-P (%)	Total (%)
Oedo	59.5 (52)	55.0 (48)	114.6 (100)	34.9 (22)	127.1 (78)	162.0 (100)	21.7 (6)	370.5 (94)	392.2 (100)	4.5 (40)	6.6 (60)	11.1 (100)
Ongpo	12.4 (20)	51.3 (80)	63.7 (100)	9.7 (6)	162.6 (94)	172.4 (100)	7.7 (1)	560.3 (99)	567.9 (100)	1.6 (14)	9.4 (86)	11.0 (100)
Chango	89.0 (58)	64.1 (42)	153.2 (100)	111.6 (39)	172.6 (61)	284.2 (100)	50.7 (8)	617.7 (92)	668.4 (100)	14.4 (56)	11.4 (44)	25.8 (100)
Yerae	4.6 (15)	25.7 (85)	30.3 (100)	3.4 (4)	77.9 (96)	81.3 (100)	3.0 (1)	257.3 (99)	260.3 (100)	0.2 (6)	4.1 (94)	4.3 (100)
Jungmun	91.5 (73)	33.2 (27)	124.7 (100)	50.3 (40)	75.7 (60)	126.0 (100)	23.0 (12)	176.7 (88)	199.7 (100)	4.5 (63)	2.7 (37)	7.2 (100)
Gangjeong	12.8 (22)	46.0 (78)	58.8 (100)	5.4 (5)	113.4 (95)	118.8 (100)	3.6 (1)	365.9 (99)	369.5 (100)	1.7 (20)	6.6 (80)	8.3 (100)
Akgeun	51.5 (67)	25.1 (33)	76.7 (100)	37.8 (37)	63 (63)	100.8 (100)	15.8 (6)	250.9 (94)	266.7 (100)	3.6 (43)	4.9 (57)	8.5 (100)
Yeonoi	36.7 (56)	28.5 (44)	65.2 (100)	19.7 (18)	92.4 (82)	112.1 (100)	44.0 (10)	401.9 (90)	445.9 (100)	3.1 (29)	7.6 (71)	10.7 (100)
Donghong	2.1 (9)	20.1 (91)	22.2 (100)	1.7 (3)	57.5 (97)	59.3 (100)	0.7 (1)	134.2 (99)	134.9 (100)	0.2 (8)	2.0 (92)	2.2 (100)

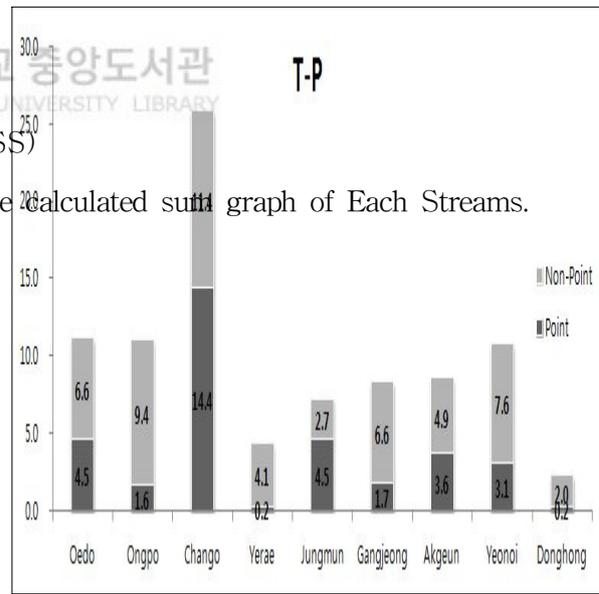
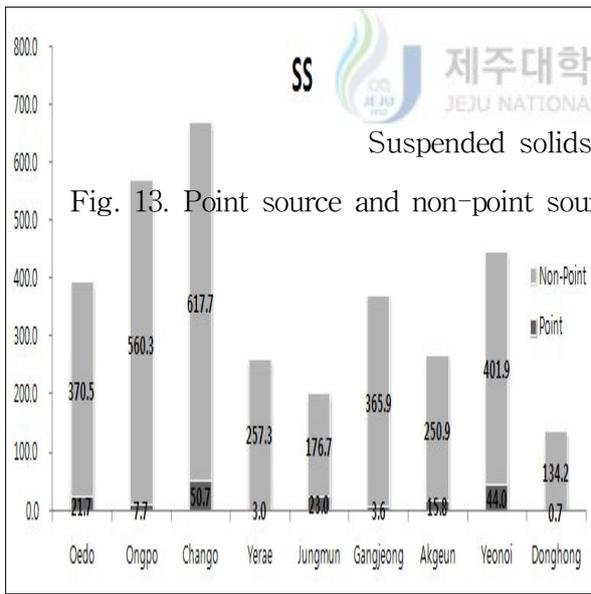
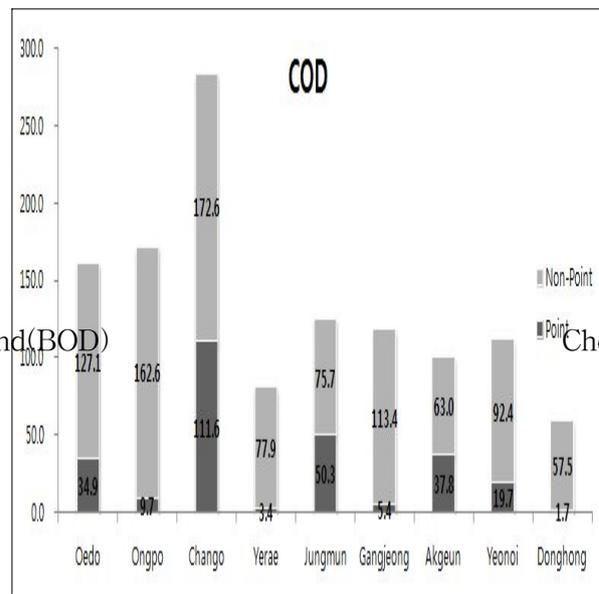
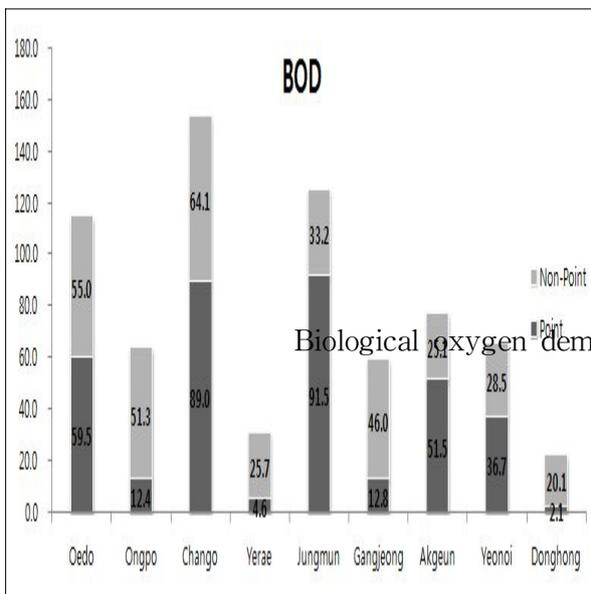


Fig. 13. Point source and non-point source calculated sum graph of Each Streams.



### 3. SPSS를 이용한 상관관계 분석 결과

#### 3.1. 상관성 분석

통계프로그램인 SPSS를 이용하여 상관분석 하기 위한 데이터가 본 연구의 결과치만 가지고는 부족하여 제주특별자치도 보건환경연구원에서 측정한 데이터를 합쳐 상관관계 분석을 실시하였고, 각 하천별 상관관계가 있는 하천들의 산점도 (Scatter diagram)를 그려 x축과 y축의 직선에 산점도가 밀집해 있는지 여부를 확인하였다. 하지만 강우시에 수질을 측정한 자료가 없어 청천시의 수질자료를 이용하여 분석하였으며, 비점오염원 보다 점오염원과 관련지어 상관관계 분석을 진행하였다.

상관관계분석은 본 연구 년 데이터와 보건환경연구원의 자료를 합해 14개의 데이터로 분석이 이루어졌으며, Lee<sup>36)</sup>의 하천퇴적물 항목간의 상관관계분석 연구에서 14개의 자료를 가지고 상관관계 및 산점도 등 연구한 바 있다. 이에 본 연구에서도 14개의 데이터를 가지고 상관성 분석을 실시하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

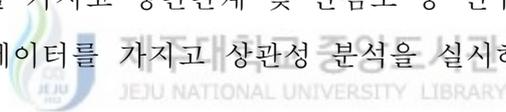




Table 17. The Results of Average Water Quality COD at Each Streams  
 (The study, Jeju Public Health and Environment Research Institute)

Division	Sanji	Oedo	Ongpo	Chango	Dae wangsus	Yerae	Jung mun	Gang jeong	Akgeun	Y	
2013	0.60	0.43	0.55	1.30	0.84	0.78	0.44	0.21	0.54	0	
2012	0.83	1.21	1.4	2.98	2.13	1.58	0.98	0.78	1.33	0	
2011	1.00	0.85	2.0	2.85	2.15	1.58	1.40	1.05	0.85	0	
2010	1.60	1.20	1.1	2.15	1.63	1.50	0.85	0.65	0.85	0	
2009	1.00	1.50	1.50	2.60	1.50	1.30	1.30	1.30	0.40	0	
2008	1.20	1.80	1.80	3.10		2.20	1.60	1.20	1.10	1	
COD (mg/L)	2007	1.00	0.80	1.00	3.00		2.70	1.30	0.80	0.90	0
	2006	1.10	1.30	1.40	3.05		2.45	1.45	1.00	1.00	0
	2005	1.05	1.05	1.20	3.03		2.58	1.38	0.90	0.95	0
	2004	1.00	0.70	0.80	2.60		1.20	0.70	0.60	0.60	1
	2003	1.03	0.90	1.00	1.80		1.00	0.90	0.70	0.70	0
	2002	1.01	1.40	1.30	2.30		1.50	0.90	0.80	0.80	1
	2001	1.02	1.15	1.15	2.05		1.25	0.90	0.75	0.75	0
	2000	1.02	1.60	1.20	1.40		1.30	0.90	0.80	1.00	1

Table 18. The Results of Average Water Quality SS at Each Streams  
(The study, Jeju Public Health and Environment Research Institute)

Division	Sanji	Oedo	Ongpo	Chango	Dae wangsu	Yerae	Jung mun	Gang jeong	Akgeun	Ye
2013	0.13	0.26	0.41	0.63	1.07	0.45	0.18	0.12	0.24	0
2012	1.55	6.15	2.6	4.48	2.60	2.15	1.75	1.30	2.38	1
2011	0.95	0.90	0.8	2.35	2.93	2.15	0.78	0.98	0.80	0
2010	1.05	0.65	1.7	1.00	1.80	2.03	0.43	0.30	0.45	0
2009	1.10	1.00	0.70	1.20	0.40	0.60	0.20	0.50	0.70	0
2008	0.60	0.50	0.50	0.40		0.40	0.30	0.40	0.70	1
SS (mg/L)	2007	0.90	1.20	2.00	2.50	2.00	1.10	1.20	1.60	1
	2006	1.90	1.60	1.20	2.00	1.10	0.70	0.60	0.70	0
	2005	1.30	0.70	2.20	2.40	0.80	0.80	0.30	0.70	1
	2004	1.00	1.10	2.30	2.20	1.10	0.80	0.60	0.70	1
	2003	1.15	1.10	3.00	1.80	2.20	1.20	1.20	1.00	1
	2002	1.08	1.50	3.30	3.70	2.60	1.60	1.20	1.50	1
	2001	1.11	2.10	2.20	2.80	2.40	1.50	1.00	1.80	1
	2000	1.09	1.30	2.40	2.30	1.40	1.55	0.90	1.00	1

Table 19. The Results of Average Water Quality T-P at Each Streams  
(The study, Jeju Public Health and Environment Research Institute)

Division	Sanji	Oedo	Ongpo	Chango	Dae wangsu	Yerae	Jung mun	Gang jeong	Akgeun	Ye
2013	0.05	0.03	0.07	0.07	0.05	0.04	0.02	0.05	0.03	0
2012	0.10	0.06	0.1	0.02	0.05	0.03	0.05	0.05	0.05	0
2011	0.14	0.06	0.1	0.03	0.08	0.03	0.05	0.06	0.06	0
2010	0.10	0.06	0.1	0.02	0.05	0.03	0.04	0.04	0.05	0
2009	0.12	0.05	0.08	0.02	0.06	0.02	0.04	0.04	0.05	0
2008	0.13	0.07	0.08	0.01		0.01	0.02	0.04	0.05	0
T-P (mg/L)	2007	0.12	0.10	0.09	0.05	0.04	0.05	0.06	0.06	0
	2006	0.16	0.10	0.11	0.10	0.10	0.11	0.08	0.14	0
	2005	0.14	0.10	0.10	0.07	0.07	0.08	0.07	0.10	0
	2004	0.19	0.07	0.08	0.03	0.03	0.12	0.06	0.08	0
	2003	0.16	0.06	0.11	0.04	0.03	0.05	0.08	0.05	0
	2002	0.17	0.06	0.08	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0
	2001	0.17	0.06	0.09	0.04	0.04	0.05	0.07	0.06	0
	2000	0.17	0.06	0.09	0.04	0.04	0.05	0.06	0.06	0

### 3.2. 상관관계 분석 및 산점도(Scatter diagram)

본 연구에서 진행된 현장조사 수질자료와 제주특별자치도 보건환경연구원에서 연도별로 조사한 총 14개의 데이터를 가지고 통계프로그램 SPSS로 수질오염항목 간의 상관성 분석결과를 Table 20에 제시하였다. 제주지역 유수하천의 총 12개소(제주시 3개소, 서귀포시 9개소)에 대해 상관성 분석을 하였으며, 이 중 산지천, 외도천, 옹포천, 창고천, 대왕수천, 예래천, 중문천, 강정천, 악근천, 효돈천은 수질항목 간 상관성 없는 것으로 나타났다. 대왕수천의 경우 기존 수질조사 자료가 부족하여 총 5개의 데이터를 가지고 분석한 결과 BOD-COD  $-0.603$ , BOD-SS  $-0.789$ , COD-SS  $0.775$  상관계수가 높은 결과가 도출되었으나, 각 유의확률이  $0.282$ ,  $0.486$ ,  $0.124$ 로 상관성을 검증하는 유의확률에서  $0.05(5\%)$  이내 유의성을 만족하지 못함으로 상관성이 없다고 판단하였다. 연외천과 동홍천에서는 수질오염항목 간의 상관성이 있다는 결과가 도출되었다. 연외천의 경우 COD-SS  $0.540$  상관계수를 보였으며, 양의 상관관계를 가지고,  $0.05(5\%)$  이내 범위 수준에서 유의한 것으로 나타났다. 산점도는 Fig. 14에 제시하였다. 또한, 동홍천의 경우 BOD-SS  $0.803$ , COD-T-P  $0.640$  상관계수를 보였으며, 매우 상관성이 있다는 결과가 도출되었다. 상관성을 검증하는 유의확률에서도  $0.01(1\%)$ ,  $0.05(5\%)$  이내 범위 수준에서 유의한 것으로 나타났다. 산점도는 Fig. 15에 제시하였다.

Sanji	Parameter	BOD	COD	SS	T_P	Jungmun	Parameter	BOD	COD	SS	T_P
	BOD	1					BOD	1			
	COD	-0.303	1				COD	-0.205	1		
	SS	0.182	0.083	1	Yerae		SS	-0.120	-0.191	1	
	T_P	0.143	-0.125	0.369	1		T_P	-0.353	-0.072	0.136	1
Oedo	Parameter	BOD	COD	SS	T_P	Gangjeong	Parameter	BOD	COD	SS	T_P
	BOD	1					BOD	1			
	COD	0.268	1				COD	-0.303	1		
	SS	-0.204	0.122	1			SS	0.182	0.083	1	
	T_P	-0.203	0.097	-0.013	1		T_P	0.143	-0.125	0.369	1
Ongpo	Parameter	BOD	COD	SS	T_P	Akgeun	Parameter	BOD	COD	SS	T_P
	BOD	1					BOD	1			
	COD	-0.189	1				COD	-0.342	1		
	SS	0.040	-0.286	1			SS	0.310	0.482	1	
	T_P	-0.241	0.252	0.296	1		T_P	-0.440	0.227	-0.086	1
Chango	Parameter	BOD	COD	SS	T_P	Yeonoi	Parameter	BOD	COD	SS	T_P
	BOD	1					BOD	1			
	COD	-0.384	1				COD	0.010	1		
	SS	0.169	0.217	1			SS	0.143	0.540*	1	
	T_P	0.375	-0.284	-0.180	1		T_P	0.051	-0.003	0.081	1

Table 20. Correlation result of at Each Streams

	Parameter	BOD	COD	SS	T_P		Parameter	BOD
Dae wangsu	BOD	1				Dong hong	BOD	1
	COD	-0.603	1				COD	0.267
	SS	0.709	0.775	1			SS	0.803**
	T_P	-0.416	0.481	0.393	1		T_P	0.266
	Parameter	BOD	COD	SS	T_P		Parameter	BOD
Yerae	BOD	1				Hyodon	BOD	1
	COD	-0.487	1				COD	0.045
	SS	-0.063	-0.124	1			SS	0.262
	T_P	0.163	0.452	-0.019	1		T_P	0.025

외도천의 각 항목별 상관계수는 BOD-COD 0.268, BOD-SS -0.204, BOD-T-P -0.203, COD-SS 0.122, COD-T-P 0.097, SS-T-P -0.013의 결과가 도출되었으며, 수질오염원 항목 간의 상관성을 보이지 않았다.

용포천의 각 항목별 상관계수는 BOD-COD -0.189, BOD-SS 0.040, BOD-T-P -0.241, COD-SS -0.286, COD-T-P 0.252, SS-T-P 0.296의 결과가 도출되었으며, 수질오염원 항목 간의 상관성을 보이지 않았다.

창고천의 각 항목별 상관계수는 BOD-COD -0.384, BOD-SS 0.169, BOD-T-P 0.375, COD-SS 0.217, COD-T-P -0.294, SS-T-P -0.180의 결과가 도출되었으며, 수질오염원 항목 간의 상관성을 보이지 않았다.

대왕수천의 각 항목별 상관계수는 BOD-COD -0.603, BOD-SS -0.789, BOD-T-P -0.416, COD-SS 0.775, COD-T-P -0.481, SS-T-P 0.393의 결과가 도출되었으며, 상관성을 보이지 않았다. BOD-COD, BOD-SS, COD-SS의 경우 상관계수가 높게 나타났지만, 상관성을 검증하는 유의확률이 0.282, 0.486, 0.124로 0.05(5%) 이내 유의성을 만족하지 못함으로 수질오염원 항목 간의 상관성이 없다고 판단하였다.

예래천의 각 항목별 상관계수는 BOD-COD -0.487, BOD-SS -0.063, BOD-T-P 0.163, COD-SS -0.124, COD-T-P 0.452, SS-T-P -0.019의 결과가 도출되었으며, 수질오염원 항목 간의 상관성을 보이지 않았다.

중문천의 각 항목별 상관계수는 BOD-COD -0.205, BOD-SS -0.120, BOD-T-P -0.353, COD-SS -0.191, COD-T-P -0.072, SS-T-P 0.136의 결과가 도출되었으며, 수질오염원 항목 간의 상관성을 보이지 않았다.

강정천의 각 항목별 상관계수는 BOD-COD -0.303, BOD-SS 0.182, BOD-T-P 0.143, COD-SS 0.083, COD-T-P -0.125, SS-T-P 0.369의 결과가 도출되었으며, 수질오염원 항목 간의 상관성을 보이지 않았다.

악근천의 각 항목별 상관계수는 BOD-COD -0.342, BOD-SS 0.310, BOD-T-P -0.440, COD-SS 0.482, COD-T-P 0.227, SS-T-P -0.086의 결과가 도출되었으며, 수질오염원 항목 간의 상관성을 보이지 않았다.

연외천의 각 항목별 상관계수는 BOD-COD 0.010, BOD-SS 0.143, BOD-T-P 0.051, COD-SS 0.540, COD-T-P -0.003, SS-T-P 0.081의 결과가 도출되었으며,

COD-SS가 0.540 상관성이 있고, 양의 상관관계를 가지는 결과를 도출하였다. 상관성을 검증하는 유의확률에서도 0.05(5%) 이내 범위 수준에서 유의한 것으로 나타났다.

동홍천의 각 항목별 상관계수는 BOD-COD 0.267, BOD-SS 0.803, BOD-T-P 0.266, COD-SS 0.309, COD-T-P 0.640, SS-T-P 0.518의 결과가 도출되었으며, BOD-SS가 0.803, COD-T-P가 0.640로 매우 상관성 있는 양의 상관관계 결과가 도출되었다. 상관성을 검증하는 유의확률에서도 0.01(1%), 0.05(5%) 이내 범위 수준에서 유의한 것으로 나타났다.

효돈천의 각 항목별 상관계수는 BOD-COD 0.045, BOD-SS 0.262, BOD-T-P 0.025, COD-SS 0.156, COD-T-P 0.382, SS-T-P 0.235의 결과가 도출되었으며, 수질오염원 항목 간의 상관성을 보이지 않았다.



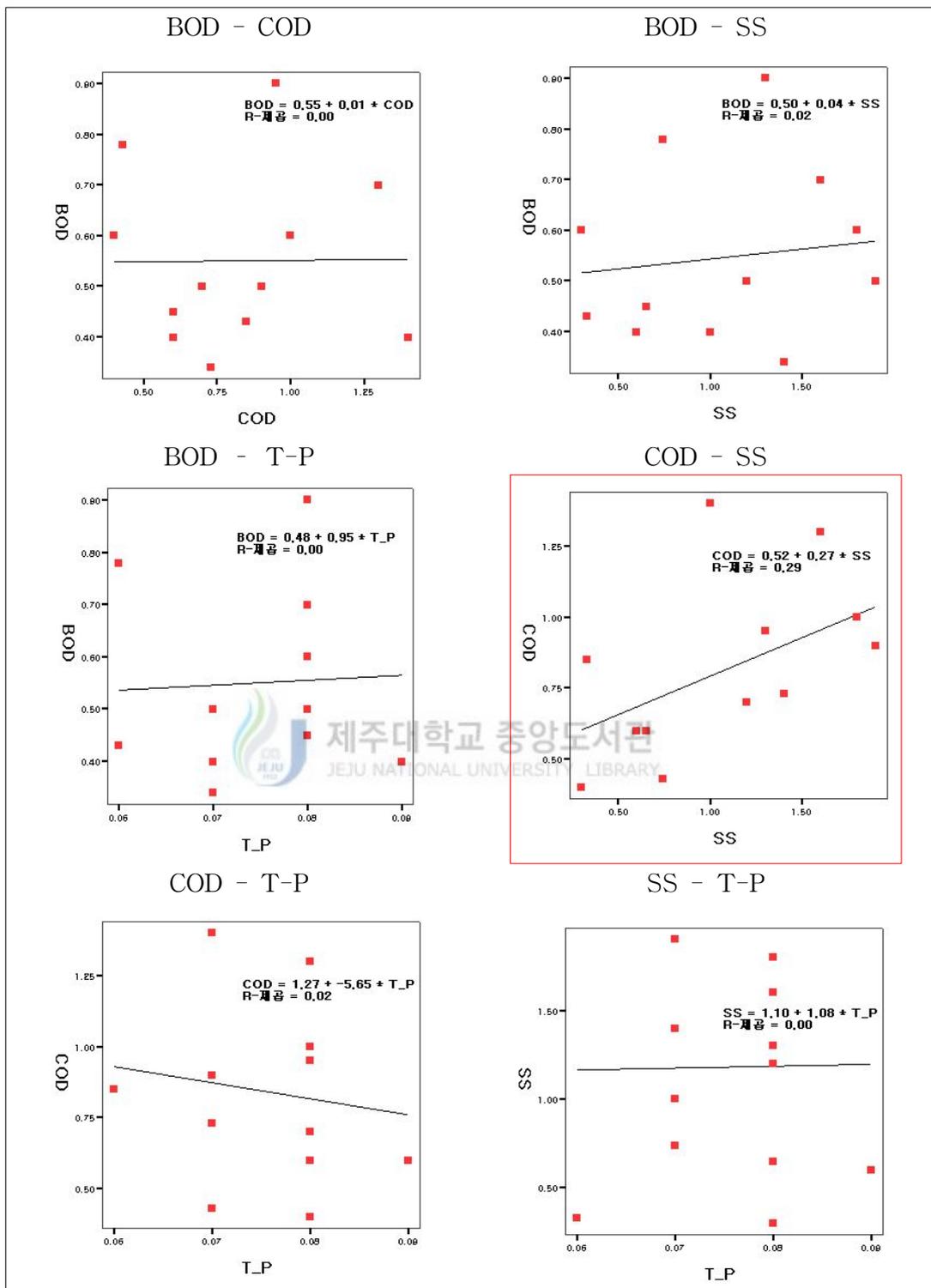


Fig. 14. Scatter diagram graph of Yeonoicheon.

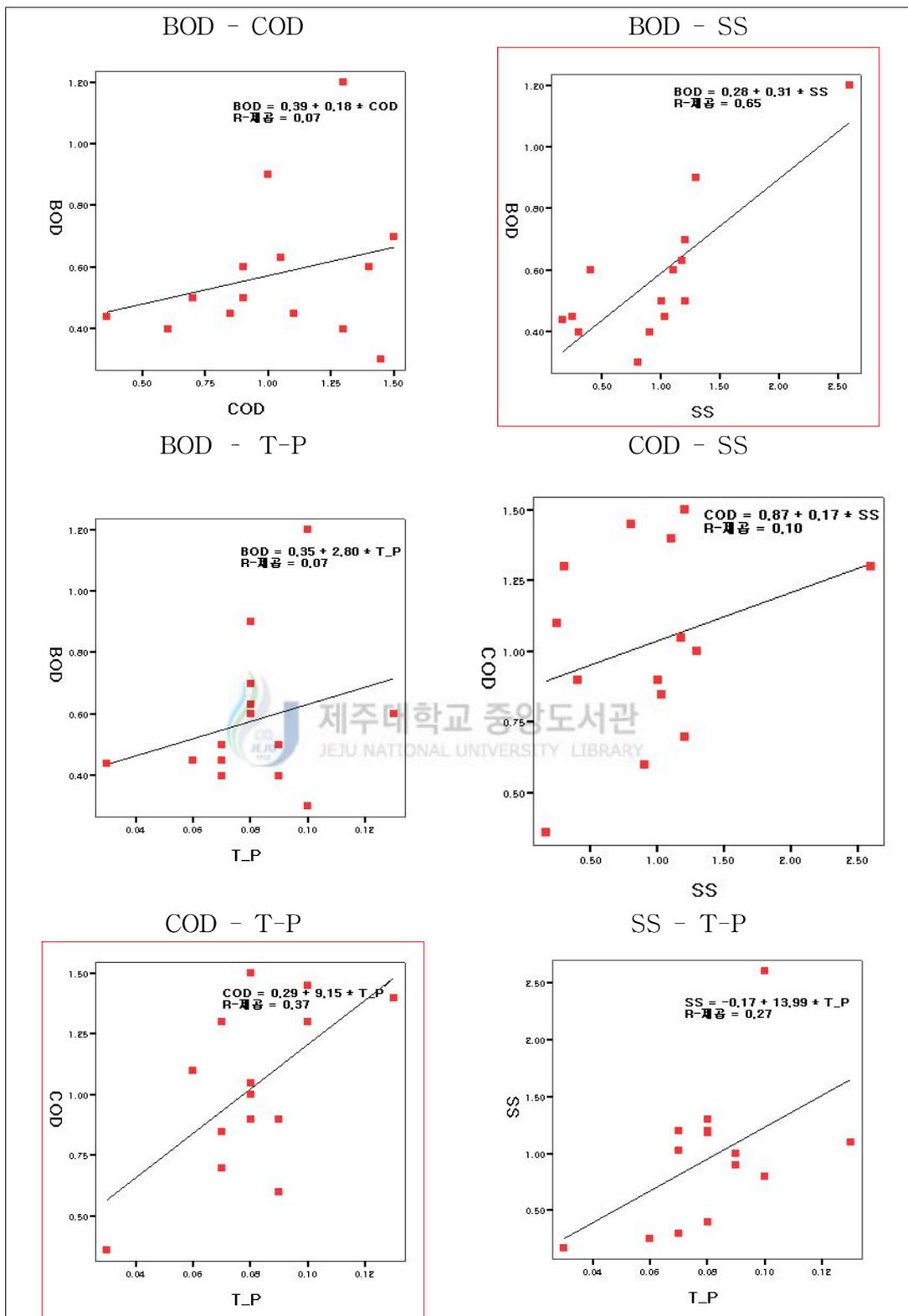


Fig. 15. Scatter diagram graph of Donghongcheon.

### 3.3. 우수하천의 수질특성과 오염항목 간의 상관관계 분석

본 연구에서 진행된 현장조사 수질자료와 제주특별자치도 보건환경연구원에서 연도별로 조사한 총 14개의 데이터를 가지고 통계프로그램 SPSS로 수질오염항목 간의 상관관계 분석을 하였다. 하지만, 강우시 하천조사 수질자료가 없어 청천시 측정된 자료를 이용하여 비점오염원 보다 점오염원과 관련지어 분석하였다. 제주지역 우수하천의 총 12개소(제주시 3개소, 서귀포시 9개소)에 대해 분석한 결과 산지천, 외도천, 옹포천, 창고천, 대왕수천, 예래천, 중문천, 강정천, 악근천, 효돈천은 수질항목 간 상관성 없는 것으로 나타났으며, 연외천과 동홍천에서는 수질오염항목 간의 상관성이 있다는 결과가 도출되었다. 연외천의 경우 COD-SS 0.540 상관계수를 보였으며, 양의 상관관계를 가지고, 0.05(5%) 이내 범위 수준에서 유의한 것으로 나타났다. 또한, 동홍천의 경우 BOD-SS 0.803, COD-T-P 0.640 상관계수를 보였으며, 매우 상관성이 있다는 결과가 도출되었다. 상관성을 검증하는 유의확률에서도 0.01(1%), 0.05(5%)이내 범위 수준에서 유의한 것으로 나타났다.



## IV. 결 론

본 연구에서는 제주지역 우수하천 제주도 3개소 산지천, 외도천, 옹포천과 서귀포시 9개소 창고천, 대왕수천, 예래천, 중문천, 강정천, 약근천, 연외천, 동홍천, 효돈천을 대상으로 총 12개의 우수하천에 대해 현장조사를 사계절(5월, 8월, 10월, 12월)로 나누어 실시하였고, 실험실에서 실험을 통하여 얻어진 데이터와 대상하천 유역에 대한 토지이용도 자료를 토대로 제주도 우수하천의 수질특성과 각 하천유역의 수질오염항목 간의 상관성을 분석하여 어떤 요인의 영향으로 발생이 시작되었는지 점오염원, 비점오염원 산정한 결과를 가지고 각 유역별로 원인을 밝히고 규명하였다. 연구결과는 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 제주지역 우수하천 중 제주도 3개소와 서귀포시 강정천, 연외천을 선정하여 현장조사를 실시하였으며, 수온, 수소이온농도(pH), 용존산소(DO), 전기전도도(EC), 총용존고형물(TDS)는 현장에서 즉시 측정하였으며, 생물화학적산소요구량(BOD), 화학적산소요구량(COD), 부유물질(SS), 총인(T-P)은 현장에서 채수를 하여 실험실로 운반한 뒤 실험으로 실험하였다. 하천수질조사 결과 수온 범위(°C)는 8.1 ~ 29.8°C, 수소이온농도(pH)은 7.1 ~ 8.7, 용존산소(DO)는 7.0 ~ 14.9 mg/L, 전기전도도( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )는 48.8 ~ 552.7  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , 총용존고형물(TDS)은 23.0 ~ 245.3 mg/L, 생물화학적산소요구량(BOD)는 0.1 ~ 2.1 mg/L 범위로 나타났다. 화학적산소요구량(COD)은 0.1 ~ 1.9 mg/L, 부유물질(SS)은 0.005 ~ 4.2 mg/L, 총 인(T-P)은 0.002 ~ 0.3 mg/L로 나타났다. 전체적으로 각 우수하천에서는 계절적으로나 지역적으로 수질농도 간의 다소 차이가 나타났다.
2. 제주지역 우수하천 제주도 3개소, 서귀포시 9개소 총 12개소 중 하천유역의 유량을 산정하기 위한 유속자료와 단면도 자료가 없는 산지천, 대왕수천, 효돈천을 제외한 나머지 9개소의 유역에 대한 점오염원을 산정하였다. 생물화

학적산소요구량(BOD) 부하량의 범위는 0.21 ~ 36.94 kg/day, 화학적산소요구량(COD) 0.09 ~ 37.80 kg/day, 부유물질(SS) 0.01 ~ 48.34 kg/day, 총인 0.002 ~ 10.01 kg/day로 나타났다. 제주지역 우수하천별 오염원의 농도 형태를 보면 유량에 변화에 따라 증가와 감소가 달리 나타난 결과를 볼 때 유량의 영향을 받아 나타난 것으로 사료된다.

3. 비점오염원 산정은 연구대상하천 각각의 유역에 대해 6개 분류(도시, 밭, 산림, 상업지역, 공업지역, 도로)로 나누어진 토지이용면적과 비점오염원 원단위의 곱으로 산정하였다. 생물화학적산소요구량(BOD)의 범위는 20.1 ~ 64.1 kg/day, 화학적산소요구량(COD) 57.5 ~ 162.6 kg/day, 부유물질(SS) 176.7 ~ 617.7 kg/day, 총인 2.0 ~ 11.4 kg/day로 나타났다. 국내에서 연구된 문헌자료를 보면 Jeong(2009) 대전지역 갑천유역을 대상지점 4곳을 강우량에 따라 토지이용(밭, 논, 잡종지, 도시, 임야 등) 비점오염원 산정 결과 BOD 48.80 ~ 1,619 kg, COD 65.15 ~ 1,909.34 kg, SS 48.70 ~ 3,628.09 kg, T-P 2.00 ~ 78.24 kg으로 산정되었다. 강우량이 많아질수록 오염원 농도가 높게 증가하는 결과를 보였으며, 본 연구의 산정결과와 비교하여 볼 때 갑천유역의 비점오염원 결과가 매우 높았다. 이런 결과는 유역특성과 토지이용면적 및 비점오염원 원단위에 따라 달리 산정된 것으로 사료된다.
4. 통계프로그램인 SPSS를 이용하여 상관분석을 하기 위한 데이터가 본 연구의 결과치만 가지고는 부족하여 제주특별자치도 보건환경연구원에서 측정된 데이터를 합쳐 상관관계 분석을 실시하였고. 각 하천별 상관관계가 있는 하천들의 산점도(Scatter diagram)를 그려 x축과 y축의 직선에 산점도가 밀집해 있는지 여부를 확인하였다. 제주지역 우수하천의 총 12개소(제주시 3개소, 서귀포시 9개소)에 대해 분석한 결과 산지천, 외도천, 옹포천, 창고천, 대왕수천, 예래천, 중문천, 강정천, 약근천, 효돈천은 수질항목 간 상관성 없는 것으로 나타났으며, 연외천과 동홍천에서는 수질오염항목 간의 상관성이 있다는 결과가 도출되었다. 연외천의 경우 COD-SS 0.540 상관계수를 보였으며, 양의 상관관계를 가지고, 0.05(5%) 이내 범위 수준에서 유의한 것으로 나타났

다. 동홍천의 경우 BOD-SS 0.803, COD-T-P 0.640 상관계수를 보였으며, 매우 상관성이 있다는 결과가 도출되었다. 상관성을 검증하는 유의확률에서도 0.01(1%), 0.05(5%)이내 범위 수준에서 유의한 것으로 나타났다.

제주지역의 유수하천의 수질오염항목 간의 상관성을 분석한 결과 연외천과 동홍천에서 COD-SS, BOD-SS, COD-T-P의 항목 간의 상관성이 있다는 결론이 도출되었다. 하지만, 강우시 하천조사 수질자료가 없어 청천시 측정된 자료를 토대로 상관성 분석을 진행하여 비점오염원의 오염원 배출 경로를 해석하기에는 어려움이 있었다.



## 참고문헌

- 1) 제주특별자치도, “2012 환경백서”, 170-357(2012)
- 2) 문덕철 “제주도 주요하천의 기저유출량 산정에 관한 연구”, 6-43pp(2004)
- 3) 박원배, “하천유출수 활용방안 마련을 위한 수문 및 수질특성 기초연구 [한·화북 천·효례천을 중심으로], 제주발전연구원(2010)
- 4) 정우열, “제주도 하천 관측자료 기반 유출특성 매개변수 도출 및 홍수유출량 산정” 제주대학교 박사학위 논문(2013)
- 5) 박연희, “강우사상에 따른 토지이용별 비점오염원 부하량 산정 함수 연구”, 2003 권 0호 197-200pp(2002)
- 6) 정희선, “일우량을 고려한 비점오염원 산정방법에 관한 연구”, 한밭대학교 석사학위 논문(2009)
- 7) 전지홍, 윤춘경, 함중화 “비도시 유역에서 수질오염물질 사이의 상관관계 분석”, korean J. Limnol. 34(3) : 215-222,(2001)
- 8) 김형철, 윤춘경, 정광욱, 장재호 “하구담수호에 유입되는 하천에서 수질오염물질 간의 상관관계 분석”, 대한상하수도학회, 한국물환경학회 2004 공동 추계학술발표회 논문집, C-62-72(2004)
- 9) 환경부, “수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 제 2조 제 2호”
- 10) 환경부, “비점오염원 관리요령”, 1-10pp(2000)
- 11) 이영신, 신상희, 이태호, “삼교호의 오염물질 유달률 산정 조사 및 평가연구“, Journal of the korean Geo-Environmental Society 15(4) 29~36(2014)
- 12) 환경부. “비점오염원 조사연구사업 보고서”(1995)
- 13) 환경건설기술연구원. “팔당상수원 비점오염원 유출특성과 최적관리방안”, 59-69pp(2000)
- 14) 환경관리공단, “금강수계 비점오염원관리방안 마련을 위한 조사사업 최종보고서”, (2004)
- 15) 김철민, “포장지역 토지이용에서의 비점오염물질 원단위 산정“, 공주대학교 석사학위 논문(2009)

- 16) 고성훈, “경안천지역의 도로 및 주차장에 대한 강우유출수의 특성과 원단위 산정”, 명지대학교 석사학위 논문(2009)
- 17) 조은일, “제주지역에서 배출되는 비점오염원 관리방안 연구”, 47-52pp(2005)
- 18) 최지용, “비점오염원 유출저감을 위한 우수유출수 관리방안”, 한국환경정책평가연구원, 74-82pp(2002)
- 19) 이상인, “산림 및 밭으로부터의 비점오염원 발생과 유출 특성조사”, 한밭대학교 석사학위 논문(2007)
- 20) 조은일, “제주지역에서 배출되는 농경과 목장 비점오염물질 유출특성”, 한국수처리학회지, 16권 제 2 호, Journal of the Korean Society of Water Science and Technology (2008)
- 21) 황병기, “안성천 유역의 토지이용별 비점오염원 원단위 산정”, 한국산화기술학회논문지, Vol.10, No.5 1026-1033pp(2009)
- 22) 강희만, “고속도로 노면 강우유출 오염부하 원단위 산정”, Journal of the Korean Society Water and Wastewater Vol.26,no.1 58-68pp(2012)
- 23) 손태석, 장종경, 이상도, 주동진, 신현석 “공업지역의 비점오염원 원단위 산정에 관한 연구”, 941-951pp(2010)
- 24) 김상준, 신선미, 전용태, 원찬희, “교외 산업단지지역 강우유출수내 비점오염물질의 유출특성 및 원단위 산정”, 환경영향평가 제 21권 제 2호 315-325pp(2012)
- 25) 박세용, 모경, 김이형, 강희만, 김문일, “서해안 고속도로 매송지역 비점오염원 원단위 산정”, 한국지반환경공학회 논문집, 제 11권 제 8호 33-40pp(2010)
- 26) 국립환경환경과학원 영산강물환경연구소, “주요 비점오염원 유출 장기모니터링 및 저감기법 연구”, 110-156pp(2008)
- 27) 한승준, “조사방법의 이해와 SPSS활용”, 대영문화사(2006)
- 28) 현근탁, 김길성, 오태권, 김수미, 박세준, 현영실, 강미리내, “강우 전후의 하천수질 변동특성 연구”, 제주특별자치도보건환경연구원보 제24권 Report of JIHE Vol.24, 97-126pp(2013)
- 29) 조은일, “제주도내 우수하천에 대한 수질특성 및 오염부하량 산정”, 한국환경과학회지 제 7권(제 6호), J. of the Korean Environmental Sciences Society, 845-851pp(1998)
- 30) 임성록, “제주시 한천 저류지의 비점오염물질 특성 및 저감 효과”, 제주대학교

석사학위 논문(2013)

- 31) 박원배, 문덕철, “하천유출수 활용을 위한 수문 및 수질특성 기초연구”, 45-57pp(2010)
- 32) 이인철, 윤한삼, 류청로, “형산강 하천유량과 오염부하량 산정에 관한 연구”, 한국해양환경공학회 추계학술대회 논문집, 139-144pp(2002)
- 33) 김지연, 황재엽, 지용대, 박수영, 김동호, 이영준, “강우시 골프장 지역의 비점오염물질 유량가중평균농도 산정 및 초기세척효과 분석”, 한국수처리학회지, Vol.21, No.3, 31-38pp(2013)
- 34) 정재훈, 안태웅, 최이송, 오종민, “강우시 신갈호 유입하천의 오염부하량 및 기여율 산정”, 한국수자원학회 학술대회논문집, 966-970pp(2009)
- 35) 강수열, “수계오염총량관리 시행을 위한 지역오염원조사에 관한 연구“, 진주산업대학교 석사학위 논문(2003)
- 36) 이준기, 이태윤. “하천퇴적물의 오염도 분석 및 퇴적물항목간의 상관관계에 관한 연구”, Korean Geo-Environmental Conference, 342-347pp(2009)
- 37) 이새봄, 윤춘경, 정광욱, 장재호, 전지홍, “토지이용의 공간적 분포와 농업용저수지 수질 간의 상관분석”, Korean J. Limnol. **40**(4), 481-488pp(2007)
- 38) 정재운, 임병진, 조소현, 최진희, 송광덕, 하돈우, 김해성, 박승호, 황태희, 정수정, 이동진, 김갑순, “영산수계 소하천 유역의 토지이용이 하천수질에 미치는 영향 분석”, Korean J. Limnol. **45**(4), 412-419pp(2012)

## 감사의 글

2년이라는 대학원 생활은 그 동안 경험하지 못했던 새롭고, 좋은 경험을 배울 수 있는 좋은 기회가 되었고, 저를 아끼고 사랑해 주시는 분들의 배려와 관심으로 지켜봐 주시고 염려해주신 덕분에 한층 성숙해질 수 있었습니다. 너무 감사하고 존경합니다. 일일이 찾아뵙고 감사의 마음을 전해야 하나 그러지 못하고 글로 감사의 인사를 드립니다. 논문이 완성되기까지 아낌없이 주는 나무의 배려와 사랑처럼 끊임없이 격려와 따뜻한 충고로 지도하여주신 조은일 교수님의 은혜에 마음속 깊이 감사드립니다. 그리고 많은 도움과 세심한 배려로 꼼꼼하게 논문을 검토해주신 심사위원장 감상규 교수님과 심사위원 김진근 교수님 정말 진심으로 감사합니다. 학부생부터 대학원생활까지 뒤에서 항상 관심을 가지고 지켜봐주신 허 목 교수님, 허철구 교수님, 이기호 교수님께도 진심으로 고개 숙여 인사드립니다. 또한, 대학원 생활을 시작을 같이했던 대학원동기 지안누나와 고민이 있어 찾아가면 위로해 주고 자료를 같이 찾아준 명찬형, 힘내라며 화이팅을 항상 외쳐주시던 룬용이형, “형 힘내세요!” “오빠 힘내요” 뒤에서 응원해주던 태웅, 정훈, 보은 민정 모두들 고맙습니다. 여러분들 모두 각자의 분야에서 최선을 다하고 항상 건강하고 건승하시길 진심으로 기원합니다. 연구원에서 논문을 쓰고 있을 때면 아낌없는 격려를 해주신 제주발전연구원 강진영 박사님, 김태운 박사님, 논문에 완성될 때까지 많은 자료와 조언을 아끼지 않으신 박원배 박사님 다시 한번 감사의 마음을 전합니다. 본 연구가 수행되는 동안에 현장조사와 실험을 같이 해준 수질실험실 지호, 지훈, 진석, 재연, 지현, 유리 그리고 내 친구이자 선배처럼 논문을 꼼꼼하게 검토해주고 충고해준 성록이 다들 너무 고맙고 사랑한다. 논문 마무리 하는 동안 투정 하나없이 항상 내 옆에서 힘이 되어준 내 비타민 미림아 항상 고맙고 사랑한다. 그리고 늦은 밤에도 불을 켜놓고 공부해도 불평없이 지내준 내 동생 범준 미안하고 고맙다. 많은 도움을 주시고 관심과 애정을 아낌없이 주셨던 모든 분들에게 부끄럽지 않은 모습으로 매사에 최선을 다하고 정직하게 살아가는 모습을 보여드리겠습니다. 다시 한번 진심으로 감사드립니다. 끝으로 대학생활부터 대학원생활까지 배움의 길을 택한 아들을 위해 희생하고, 소리없는 응원과 따뜻한 사랑으로 뒷바라지 해주신 아버지, 어머니 사랑합니다.