수시 | 20-04

합리적 하천관리를 위한 기준유량 설정방안

A Proposal to Establish the Reference Discharges for Rational River Management

박태선

KRIHS 국토연구원

수시 20-04

합리적 하천관리를 위한 기준유량 설정방안

A Proposal to Establish the Reference Discharges
for Rational River Management

박태선

KRIHS 국토연구원

■ 연구진

박태선 국토연구원 선임연구위원(연구책임)

■ 연구심의위원

김창현 국토연구원 국토환경·자원연구본부장
한우석 국토연구원 국가방재연구센터장
이정찬 국토연구원 책임연구원
조만석 국토연구원 책임연구원

주요 내용 및 정책제안

FINDINGS & SUGGESTIONS

본 연구보고서의 주요 내용

1 물관리에서 하천의 유량관리는 매우 중요함에도 불구하고, 강우-유출모형에 의한 추정값을 토대로 홍수·갈수와 같은 극한상황에 중점을 두어 관리하고 있으므로 그동안의 장기간 관측유량에 기반한 유량관리를 위한 하천관리 기준유량 마련이 필요

2 홍수조절 기준유량은 연중 상위 2.5%인 홍수유량(Q_{10}), 갈수관리 기준유량은 10분위수 또는 20분위수 중 최소유량으로 각각 설정·관리하는 방안을 제시

3 평상시의 하천유량 관리와 적절한 하천수 사용허가를 위해 5일별, 24절기별, 월별, 계절별로 관리기간을 구분하여 5일 평균 최빈유량을 하한값, 5일 평균 최대유량을 상한값으로 하여 탄력적으로 관리하는 방안을 제시

4 물부족이 발생하지 않도록 현재의 하천수 사용허가 기준유량인 10년 빈도 갈수량 대신 연중 10분위수 또는 20분위수 중 최소유량을 새로운 기준유량으로 적용하는 방안을 제시

5 일기예보와 같이 30년 동안의 평균을 의미하는 “평년”이라는 개념을 도입하여 지점별로 가칭 “유량관리달력”을 작성·활용하는 방안을 제시

본 연구보고서의 정책제안

1 하천관리 기준유량을 홍수기·갈수기뿐만 아니라 평상시에도 안정적으로 하천유량을 관리하기 위한 개념으로 전환하고, 구체적 산정방법과 활용방안에 대하여 지속적으로 논의

2 5대강 상·하류 주요 지점의 장기간 일유량 변화를 분석한 결과, 하천 일유량이 완만하게 감소하고 있는 것으로 나타나 그 원인분석과 아울러 향후의 물부족에 대처한 구조적·비구조적인 선제적 대응방안 마련이 필요

3 일유량 불균형 계수 등을 이용하여 연중 하천 일유량의 불안정성을 보다 정확하게 판단하고, 기후변화에 따른 하천 일유량의 변화 추이에 대한 지속적 연구가 필요

차 례

CONTENTS

CHAPTER 1

연구의 개요

CHAPTER 1

연구의 개요

1. 연구의 배경 및 필요성

□ 합리적 하천관리를 위한 하천 유량관리의 중요성

- 합리적 하천관리란 여러 가지 관점에서 다양하게 정의될 수 있으나 궁극적으로는 하천이 주변지역과 조화를 이루면서 제 기능을 원활하게 수행하도록 하는 것이라 할 수 있음
  - 일반적으로 하천의 제 기능이란 평상시의 안정적 용수공급이나 수면이용과 같은 이수기능, 홍수조절이나 토사 이송과 같은 치수기능, 하천경관이나 생태계, 수질보전 등과 같은 하천환경기능 등으로 알려져 있음
- 이처럼 하천이 제 기능을 원활하게 수행하기 위해서는 하천유량을 연중 안정적으로 관리해야 하기 때문에 하천에서의 유량관리는 하천관리의 기본이라 할 수 있음
  - 여수로 등 구조물을 이용하여 유량을 조절할 수 있는 댐에서의 유량관리에 비해 하천에서의 유량관리는 유량변화에 민감하기 때문에 상대적으로 관리하기 어려움
  - 특히, 연중 최소유량과 최대유량의 차이가 크기 때문에 일별·월별·계절별·연도별 유량변화를 평균값으로 나타내기 어렵다는 점도 하천의 유량을 적절하게 관리하는데 어려움으로 작용

□ 하천관리를 위한 기준유량 마련의 필요성

- 연중 일유량 변화에 대한 판단정보 부족
  - 연중 일유량의 편차가 커서 일유량의 산술평균이나 하상계수 또는 유황계수와 같은 간단한 방법만으로는 일유량의 평균적 변화인 유황을 파악하기 어려워 안정적인 유량관리가 곤란

- 따라서, 연중 일유량의 불균형 정도를 보다 정확하게 파악할 수 있는 계수를 개발하고, 새로운 유황곡선 작성방법도 마련할 필요가 있음

- 홍수조절을 위한 기준유량 설정방안 미흡
  - 현재는 강우-유출모형에 의한 빈도별 설계홍수량을 홍수조절을 위한 기준유량으로 이용하고 있기 때문에 실제 관측유량과 차이가 발생
  - 따라서, 장기간 축적된 관측유량에 기반하여 홍수조절을 위한 기준유량 설정방안을 마련할 필요가 있음

- 갈수관리를 위한 기준유량 설정방안 미흡
  - 현재는 갈수관리를 위해 자연갈수량(Q_{355})을 빈도분석한 10년 빈도 갈수량을 이용하고 있으나 기왕 최대갈수량, 10년 빈도 7일 갈수량 등 갈수관리의 기준이 되는 유량들이 여러 개 있어 적용상 혼란이 발생
  - 따라서, 합리적 방법에 의해 결정된 하나의 갈수관리 기준유량 설정방안을 마련할 필요가 있음

- 평수관리를 위한 기준유량 설정방안 부재
  - 평상시의 하천 일유량을 관리하기 위한 기준유량이나 관리대상 유량의 범위가 설정되어 있지 않고, 일유량의 산술평균유량은 갈수량이나 홍수량 때문에 편차가 심하여 일 평균유량의 대표값으로 사용하기 어려움
  - 따라서, 평상시의 일유량 관리를 위한 새로운 기준유량 설정방안을 마련할 필요가 있음

- 하천수 사용허가 기준유량 미흡
  - 현재는 10년 빈도 갈수량을 하천수 사용허가 여부를 판단하는 기준으로 적용하고 있으나 연중 100% 확보를 보장하기 어려움
  - 따라서, 연중 안정적인 하천수 사용을 보장하기 위해서는 100% 보장이 가능한 새로운 하천수 사용허가 기준유량 설정방안을 마련할 필요가 있음

- 세분화된 하천유량 관리기간 부재
  - 현재는 홍수기와 비홍수기로만 구분하여 하천유량을 관리하고 있기 때문에 연중 일유량의 변화특성을 충분히 고려하기 어려움
  - 따라서, 관리기간을 세분화하여 일유량의 변화에 보다 탄력적으로 대응하고, 관리기간의 구분에 따른 하천유량관리자들의 업무도 보다 세분화 할 필요가 있음

• 이처럼 홍수나 갈수와 같은 극한상황뿐만 아니라 하천수 사용허가나 평상시의 하천유량을 보다 합리적으로 관리하기 위해서도 명확한 하천관리 기준유량이 마련되어야 함

- 이를 위해서는 그동안 축적된 관측유량의 특성분석을 토대로 합리적인 하천관리 기준유량 설정방안을 마련할 필요가 있음

2. 연구의 목적 및 기대효과

1) 연구의 목적

□ 하천유량관리자에게 관측유량에 기반한 다양하고 신뢰성 있는 유량정보 제공

• 본 연구에서는 그동안 축적된 일유량 자료를 통계분석하여 하천유량관리자가 갈수시나 홍수시 뿐만 아니라 평상시에도 합리적으로 유량을 관리하기 위한 다양하고 신뢰성 있는 정보를 제공하고자 함

• 이를 위해, 장기간의 관측유량을 보유한 주요 지점의 일유량 자료를 이용하여 적절한 “관리기간”과 “기준유량”의 설정방안을 제시하고, 적용가능성을 검토

□ 하천관리 기준유량의 개념 재정립 및 관련 용어 정리

• 하천관리 기준유량의 합리적 근거를 마련하기 위해 기존 하천관리 기준유량의 개념을 재정립하고, 일유량 관련 용어들도 정리

• 하천기본계획 수립 등 실무에서 자주 사용되는 유황곡선의 개선방안도 제시

2) 주요 연구내용

(1) 용어 정의 및 관련이론 고찰

□ 관련 용어의 정의

• 하천유량 관련 : 유량 크기별 및 관리목적별 하천유량 관련 용어 정의

• 통계분석 관련 : 일반통계 관련, 백분위수·사분위수 등 분위수 관련 용어 정의

□ 관련 이론 및 규정 고찰

- 수문분석 관련 : 유황곡선, 하상계수·유황계수, 갈수빈도분석, 수문자료의 지속성·경향성, 이상치 검정이론 등을 고찰
- 하천유량 관련규정 : 홍수특보 발령기준, 갈수예보 기준, 수문관측업무 규정 등을 고찰

(2) 사례분석을 통한 일유량의 특성분석 : 5대강 본류 상류 4개 지점

□ 일유량의 통계적 특성분석

- 구분기간별 특성 : 전기간 및 연단위로 구분하여 특성을 분석
- 분위별 특성분석 : 분위값, 일반 통계값, 갈수량 등의 특성을 분석

□ 관리목적별 특성분석

- 유황분석, 홍수분석, 갈수분석, 평수분석, 하천수 사용허가 기준유량 등의 특성을 분석

□ 관리기간의 구분 및 기준유량 설정

- 연중 하천관리를 위한 적절한 관리기간의 구분방법 및 관리기간별 기준유량 설정방법 등을 검토

(3) 분석결과의 적용 가능성 검토 : 5대강 본류 하류 5개 지점

□ 일유량의 통계적 특성분석

- 구분기간별 특성 : 전기간 및 연단위로 구분하여 5대강 본류 상류 4개 지점에서의 분석결과를 본류 하류 5개 지점에 적용할 수 있는지의 여부를 검토
- 분위별 특성분석 : 분위값, 일반 통계값, 갈수량 등에 대하여 본류 하류 5개 지점에서의 적용가능성을 검토

□ 관리목적별 특성분석

- 유황분석, 홍수분석, 갈수분석, 평수분석, 하천수 사용허가 기준유량 등에 대하여 본류 하류지점에서의 적용가능성을 검토

□ 관리기간의 구분 및 기준유량 설정

- 연중 관리기간의 구분방법, 기준유량의 설정방법 등에 대하여 본류 하류 5개 지점에서의 적용가능성을 검토

(4) 합리적 하천관리를 위한 기준유량 설정방안

□ 관련 개념 및 용어 정리

- 하천관리에 필요한 기준유량의 개념을 재정립
- 유사성·중복성 등을 고려하여 일유량과 관련된 주요 용어들을 정리

□ 관리목적별 개선방안

- 사례분석 및 적용 가능성 검토결과를 토대로 유황분석 개선방안, 하천유량의 관리기간 구분방안, 홍수기·갈수기·평상시의 하천관리 기준유량 설정방안, 하천수 사용허가 기준유량 설정방안 등을 제시
- 전문가 자문회의 및 하천유량관리자들의 의견수렴을 거쳐 연중 하천유량 관리를 위한 기준유량의 설정방안과 그 실행을 위한 운영관리 및 법·제도적 개선방안을 제시

3) 기대효과

(1) 정책적 측면

□ 하천관리 기준유량의 개념 재정립 및 용어 정리를 통한 업무 명확성 제고

- 연중 관리기간을 고려하여 유량관리에 필요한 기준유량의 개념을 재정립
- 일유량 관련 용어들을 정리하여 유량관리업무의 명확성을 제고

□ 유량관리의 예측 가능성 제고 및 하천유량의 관리기준 마련에 기여

- 장기간 관측한 일유량의 통계적 특성을 분석하여 연중 유량관리의 예측 가능성을 제고
- 강우–유출 모형에 기반한 현재의 유량관리에서 나아가 축적된 관측유량을 토대로 한 하천유량의 관리기준을 마련하는데 기여

□ 관측유량 기반의 세분화된 하천관리 기준유량 설정방안 마련

- 관측유량을 통계분석하여 하천관리에 필요한 5일별·24절기별·월별·계절별 기준유량의 산정방안을 제시함으로써 보다 합리적이고 세분화된 유량관리를 도모
- 이를 토대로 연중 적정한 관리기간과 관리기간별 관리유량의 범위를 제시

(2) 학술적 측면

□ 새로운 유황분석방법 제시를 통한 유황분석의 합리성 및 활용성 제고

- 기존 유황분석의 문제점을 해소하고, 활용성을 제고할 수 있는 새로운 유황분석 방법을 제시
- 특정유량의 지속시간과 크기를 결정할 수 있는 새로운 유황분석방법을 제시함으로써 기존 유황분석방법의 문제점을 개선하고 활용성도 제고

□ 유량관리를 위한 기준유량 설정방안 제시

- 관측유량을 이용하여 홍수량이나 갈수량과 같은 극한기간에서의 기준유량 결정방안을 제시
- 월별·계절별 일유량의 특성분석 및 적용 가능성 검토결과를 토대로 연중 유량관리를 위한 적절한 관리기간 및 기준유량의 설정방안을 제시

3. 연구의 범위와 방법

1) 연구의 범위

(1) 시간적 범위

□ 분석지점

- 일반적 통계분석의 유의성을 확보하기 위한 최소한의 분석기간은 30년 이상이므로 30년 이상의 일유량 자료를 보유하고 있는 지점을 선정
- 본 연구에서는 5대 강 본류 상류 4개 댐[1]의 1988년부터 2017년까지의 일평균 유입량 자료(㎥/sec)를 이용

표 1-1 | 분석지점의 시간적 범위

수 계	지 점 명	자 료 기 간	분석 연수
한 강	소양강댐	1988~2017	30개 년
낙 동 강	안 동 댐	1988~2017	30개 년
금 강	대 청 댐	1988~2017	30개 년
섬 진 강	섬진강댐	1988~2017	30개 년

자료 : 저자 작성

□ 적용지점

- 본 연구에서는 장기간의 일유량 자료를 확보할 수 있는 5대 강 본류 하류 5개 지점의 1996년부터 2019년까지의 관측 일평균 유량 자료(㎥/sec)를 이용
- 또한, 비교적 유량이 풍부한 본류 하류라는 점과 분석의 신뢰성을 확보하기 위해 영(0)유량 포함연도의 자료와 결측일 포함년도의 자료도 제외

표 1-2 | 적용가능성 검토대상의 시간적 범위

수 계	지 점 명	자 료 기 간	분석 연수
한 강	서울시(한강대교)	1996~2019	15개 년
낙 동 강	함안군(계 내 리) 진동	2002~2019	18개 년
금 강	공주시(금 강 교)	1997~2019	15개 년
영 산 강	나주시(나주대교)	1997~2019	13개 년
섬 진 강	구례군(송 정 리)	1997~2019	21개 년

주 : 분석연수는 영유량 및 결측일 포함년도를 제외한 기간임
자료 : 저자 작성

1) 5대강 상류지점 중 상류에 다목적댐이 없는 영산강을 제외한 4개 다목적댐 지점을 선정

(2) 대상적 범위

□ 분석지점

- 분석결과의 왜곡을 방지하기 위해 상류의 유역개발, 다목적댐에 의한 인위적 저류·방류, 다량의 취수 등이 이루어지지 않아 일유량의 인위적 변화가 적어 비교적 자연상태에 가까울 것으로 사료되는 지점을 선정
- 본 연구에서는 5대강 본류 상류의 4개 다목적댐 지점의 일유입량 자료를 이용
  - 한강 소양강댐, 낙동강 안동댐, 금강 대청댐, 섬진강 섬진강댐 상류 지점 (영산강은 상류에 다목적댐이 없어 제외)

□ 적용지점

- 분석지점들은 인위적 유역개발이나 하천으로의 취수·방류가 비교적 적은 지점들이어서 그 분석결과가 하천으로의 유입·방류나 취수와 같은 현실적 물이용이 이루어지고 있는 지점에도 적용될 수 있는지에 대한 검토가 필요
- 따라서, 유량이 풍부하고, 지천으로부터의 유입·취수 등 유량의 유출·입이 복잡하게 발생되며, 하천수 이용량이 많아 하천관리 상 중요한 5대강 본류 하류 5개 지점을 선정
  - 한강 한강대교, 낙동강 진동, 금강 금강교, 영산강 나주대교, 섬진강 송정

(3) 내용적 범위

□ 하천관리 기준유량의 개념 재정립

- 현재의 하천관리 기준유량은 홍수나 갈수와 같은 극한 상황에 대비하는데 중점을 두고 있음
- 따라서, 홍수나 갈수와 같은 극한 상황뿐만 아니라 평상시의 안정적 유량관리를 위하여 홍수기·갈수기·평상시 등으로 세분화하여 각각의 관리기간에 적합한 기준유량의 개념으로 재정립이 필요
  - 현재에는 홍수기에는 홍수주의보 및 홍수경보 유량, 갈수기에는 관심·주의·경계·심각 등 갈수예보를 위한 10년 빈도 갈수량을 기준으로 운영 중

□ 일유량의 특성분석

- 일유량의 특성은 통계적 특성과 관리목적별 특성으로 구분하여 분석

- 통계적 특성은 구분기간별 특성과 분위수별 특성으로 세분하여 분석
  - 구분기간별 특성은 분석기간 동안의 일유량 자료를 전기간 및 연단위로 구분하여 구분기간에 따른 평균, 표준편차, 왜곡도, 변동계수 등 일반통계 특성, 수문학적 지속성과 경향성 등 수문통계 특성을 분석
  - 분위수별 특성은 백분위수 및 사분위수를 이용하여 연단위 일유량 자료의 상대적 크기를 비교
- 관리목적별 특성은 연단위 일유량 자료를 이용하여 연중 유황변화, 홍수기, 갈수기, 평상시의 일유량 특성 등을 분석
  - 연중 유황변화는 기존의 유황분석 기준유량(갈수량, 저수량, 평수량, 풍수량, 홍수량) 및 하상계수·유황계수 등을 분석하고, 기존 유황분석의 문제점을 개선하기 위해 일유량의 지속시간을 고려할 수 있는 방안을 제시
  - 홍수기·갈수기·평상시의 일유량 특성을 분석하기 위해 홍수조절 기준유량 설정, 갈수관리 기준유량 설정, 평상시의 일유량 대표값 등을 분석

□ 하천수 사용허가 기준유량 설정방안 제시

- 기존의 하천수 사용허가 기준유량인 10년 빈도 갈수량의 크기, 보장확률, 새로운 기준유량의 산정방법 등을 검토
- 연중 하천유량 관리기간별 최빈값·분위수 등 적정 산정방법 선정, 확보가능 유량, 보장확률 등을 검토

□ 세분화된 하천관리 기간별 기준유량 설정방안 제시

- 현재는 연중 6월 21일부터 9월 20일까지를 홍수기로 규정하고 있고, 나머지 기간에 대한 규정은 없어 사실상 홍수기만을 규정하고 있음[2)]
  - 자연재난관련 중앙 재난안전대책본부의 구성 및 운영 등에 관한 규정 제2조 제2호 가목에서는 여름철 자연재난 대책기간을 5월 15일부터 10월 15일까지로 규정하는 등 홍수기에 대한 일관성 있는 기간설정이 필요
- 연중 관리기간의 구분 및 관리기간별 기준유량을 설정하기 위해 관리기간을 5일, 24절기별, 월별, 계절별로 구분하여 분석
- 연중 적정 관리기간의 구분 및 관리기간별 기준유량의 범위 설정방안을 제시

2) 댐과 보 등의 연계운영규정. 2018. 환경부훈령 제1348호(6월 29일 제정)

표 1-3 | 본 연구의 내용적 범위

<table>
<tr><th rowspan="2">구 분</th><th colspan="4">주요 내용</th></tr>
<tr><th>현 재</th><th colspan="3">연구내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">하천관리 기준유량의 개념 재정립</td><td>-강우-유출모형 추정값 이용</td><td colspan="3">-관측 일유량 이용</td></tr>
<tr><td>-홍수·갈수 등 극한상황 위주의 관리</td><td colspan="3">-홍수기, 갈수기, 평상시로 세분</td></tr>
<tr><td rowspan="4">일유량의 특성분석</td><td rowspan="4">-유황분석, 하상계수, 유황계수 이용</td><td rowspan="2">통계적 특성</td><td>구분 기간 별</td><td>전기간 및 연단위 구분 후, 홍수기·갈수기·평상시로 세분</td></tr>
<tr><td>분 위 수 별</td><td>백분위수와 사분위수로 구분</td></tr>
<tr><td rowspan="2">관리목적별 특성</td><td>유 황 분 석</td><td>일유량 불균형 계수 제시, 새로운 유황분석방법 제시</td></tr>
<tr><td>홍수·갈수·평수</td><td>홍수조절 기준유량, 갈수관리 기준유량 설정방안 제시</td></tr>
<tr><td>하천수 사용허가 기준유량 설정방안</td><td>-10년 빈도 갈수량 이용</td><td colspan="3">-자연갈수량(10년 빈도 갈수량, 동일 일자별, 5일 평균 최빈유량), 기준갈수량, 10년 빈도 7일 갈수량 분석</td></tr>
<tr><td>하천관리 기간별 기준유량 설정방안</td><td>-홍수기와 비홍수기로 구분</td><td colspan="3">-5일 평균, 24절기별, 월별, 계절별로 구분</td></tr>
</table>

자료 : 저자 작성

2) 연구수행방법

□ 자료수집 및 문헌조사

- 하천유량관리와 관련된 규정 및 선행연구 등 문헌조사
- 4개 분석지점 및 5개 적용지점의 일유량 수집·분석 등

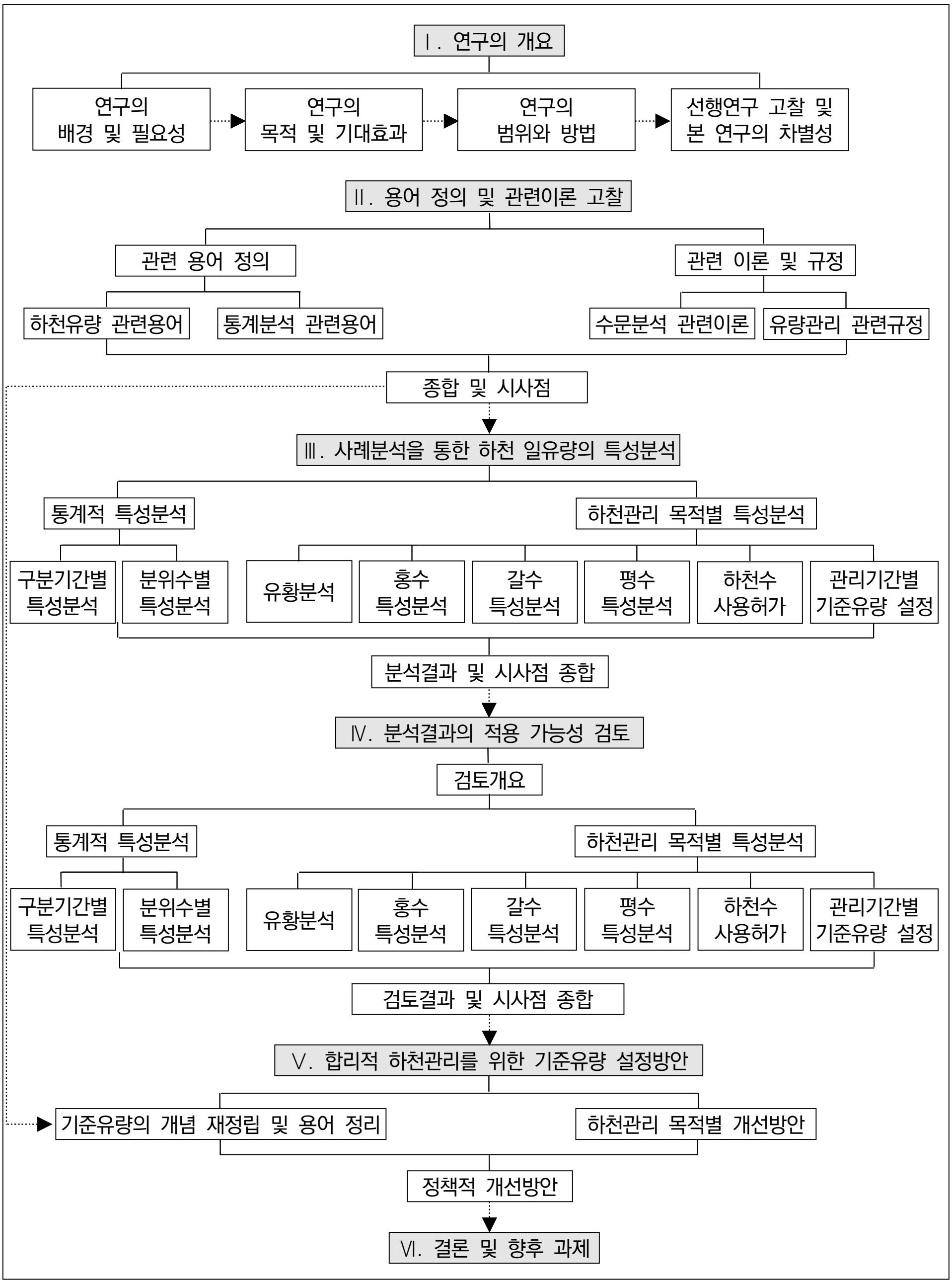
□ 통계분석

- 확률분석적 방법은 유량의 발생빈도나 크기를 결정하는 데에는 유용하지만 유량의 지속시간을 파악하기는 어려움
- 따라서, 본 연구에서는 관리기간의 설정이나 관리기간별 관리유량의 범위를 설정하는데 유용한 통계분석적 방법을 적용

□ 업무협의 및 자문

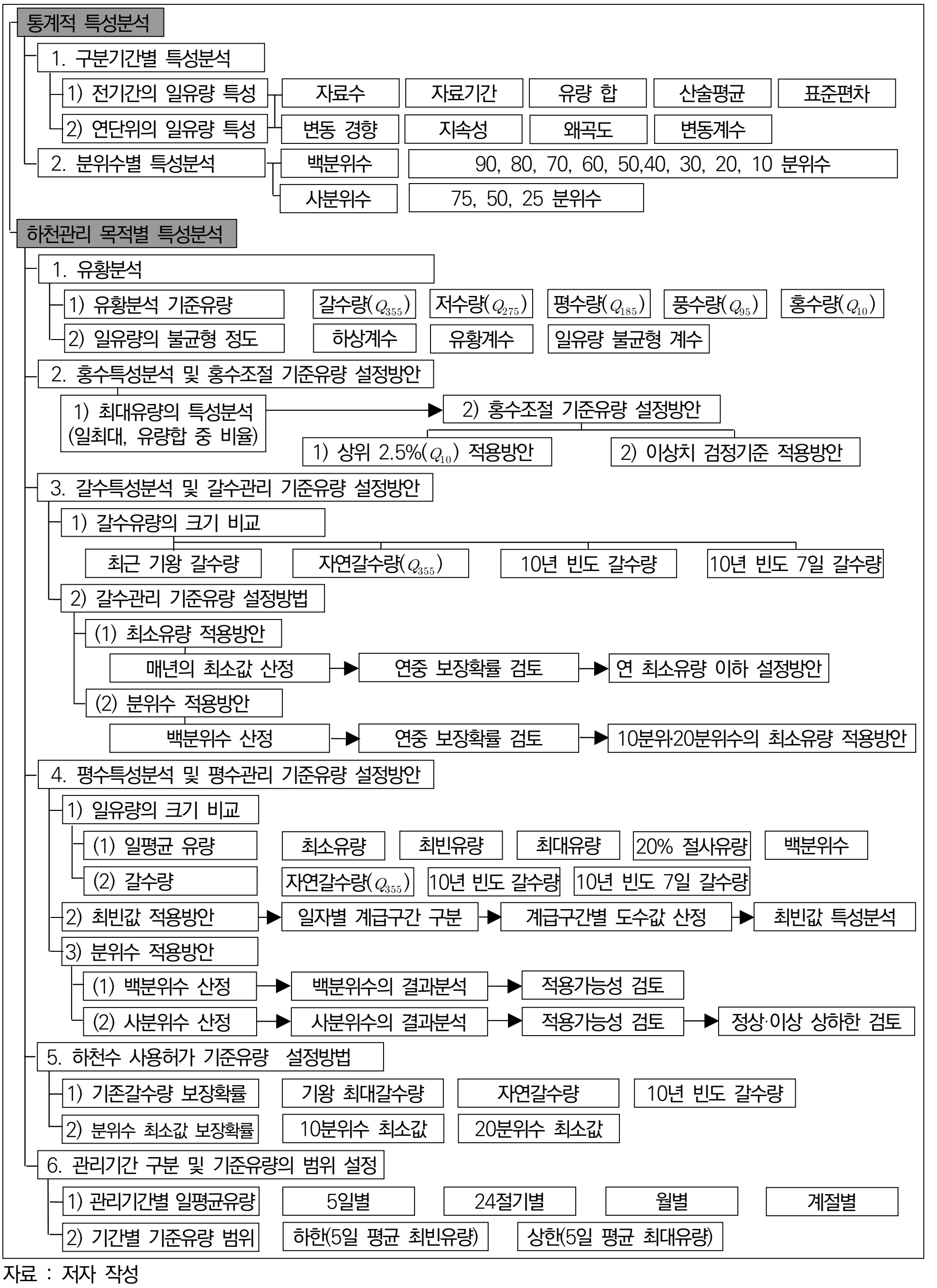
- 제시된 개선방안들에 대해 전문가 자문회의, 하천유량 관리자와의 업무협의회, 연구심의회 등을 통해 실효성 있는 정책적 개선방안을 제시

그림 1-1 | 연구흐름도



자료 : 저자 작성

그림 1-2 | 주요 항목별 분석내용



자료 : 저자 작성

4. 선행연구 고찰 및 본 연구의 차별성

1) 주요 선행연구

□ 하천수 사용허가 기준유량 산정 관련

- 정승교. 2018. 효율적인 하천수 사용허가 기준유량 산정을 위한 계절성을 고려한 갈수량 평가에 관한 연구
- 갈수량이 연중 전체의 하천수 사용허가 기준유량의 기준이 된다는 점에 착안하여 탱크모형을 이용하여 전국 112개 중권역을 대상으로 여름철과 겨울철로 구분하여 평균갈수량과 기준갈수량을 검토
- 전국을 대상으로 평균갈수량과 기준갈수량을 산정하였으나 갈수기 이외의 다른 기간에 대한 일유량의 변화특성은 분석하지 않았음

□ 하천관리 기준유량 산정 관련

- 박정은 외. 2016. 시·공간적 유량변화를 고려한 탄력적 하천관리 기준유량 산정 및 평가
- 금호강 유역을 대상으로 SWAT모형을 이용하여 홍수기·비홍수기, 관개기·비관개기라는 4개 시기로 구분하여 기준갈수량, 저수량, 평수량, 평균갈수량, 하천수 사용허가 기준유량을 산정
- 하천관리의 시기를 구분하였으나 특정지역을 대상으로 기존의 산정방법을 이용하였다는 점에서 일반화에 대한 검토가 없었음

□ 하천기준유량 산정 관련

- 김민규. 2008. TANK 모형을 이용한 하천기준유량 산정방법 개발 및 적용에 관한 연구
- 탱크모형을 이용하여 수질오염 총량관리에 필요한 하천기준유량을 갈수량, 저수량, 평수량, 풍수량으로 구분하여 산정하고, 그 방법론을 지석천에 적용
- 하천의 유량관리기준을 수질오염 총량관리로 국한하였다는 점에서 일반적인 하천관리의 기준유량으로 적용하기는 어려움

□ 하천수 사용실적 관련

- 건설교통부. 2007. 하천수 사용 관리체계 개선(Ⅰ)
- 한강권역을 대상으로 2006년까지의 하천수 사용실적을 바탕으로 하천수 사용 특성을 수계별·하천별·중권역별·공급원별·행정구역별·사용자별로 세분하여 분석
- 하천수 사용실태와 특성을 분석하였으나 하천유량의 변화특성을 분석하지는 않았음

2) 본 연구의 차별성

- 선행연구들은 강우-유출모형에 의해 산정된 유량을 이용하여 하천에서의 유량변화 특성을 분석한 연구들이 대부분임
- 본 연구에서는 장기간 축적된 관측 일유량을 이용하여 전기간 및 연단위 일유량의 변화특성을 분석
  - 모형이 아닌 관측유량의 통계적 분석이라는 점에서 분석결과가 가지는 의미가 크고, 분석결과를 토대로 하천관리 기준유량을 제시한다는데 점에서 차이가 있음
- 홍수시·갈수시·평수시 등 하천유량관리에 필요한 관리기간과 관리유량의 설정방안을 제시
  - 하천관리자가 고려해야 할 연중 관리기간의 구분방법 및 관리기간별 기준유량 산정방법들을 제시함으로써 보다 다양하고 합리적인 하천유량관리를 도모하는데 기여
- 지속시간을 고려할 수 있는 새로운 개념의 유황곡선도 제시
  - 기존 유황곡선의 개념적 오류를 바로잡고, 적용의 편의성을 도모할 수 있는 새로운 개념의 유황곡선 작성 및 활용방안을 제시

표 1-4 | 본 연구와 선행연구와의 차별성

구 분		선행연구와의 차별성		
		연구개요	연구방법	주요 연구내용 및 차이점
주요 선행 연구	1	◦과제명 : 효율적인 하천수 사용 허가 기준유량 산정을 위한 계절성을 고려한 갈수량 평가에 관한 연구 ◦연구자(연도) : 정승교(2008) ◦연구목적 : 탱크모형을 이용하여 전국 112개 중권역의 평균갈수량과 기준갈수량을 검토	◦탱크모형 이용 ◦전국 112개 중권역 대상 ◦계절성비(SR), 계절성 지수(SI), 계절성 히스토그램(SH) 등의 계절성 지표를 이용	◦전국을 대상으로 평균갈수량과 기준갈수량을 산정 ◦갈수기 이외의 다른 기간에 대한 일유량의 변화특성을 분석하지 않았음
	2	◦과제명 : 시·공간적 유량변화를 고려한 탄력적 하천관리 기준유량 산정 및 평가 ◦연구자(연도) : 박정은 외(2016) ◦연구목적 : 금호강 유역을 대상으로 SWAT모형을 이용하여 하천수 사용허가 기준유량을 산정	◦탱크모형 이용 ◦금호강유역의 기준갈수량, 저수량, 평수량, 평균갈수량, 하천수 사용허가 기준유량 산정	◦하천관리의 시기를 구분하였으나 특정지역을 대상으로 기존의 산정방법을 이용하여 산정 ◦다른 지역에의 적용을 위한 일반화가 어렵고, 새로운 개념의 도입이 없었음
	3	◦과제명 : TANK모형을 이용한 하천기준유량 산정방법 개발 및 적용에 관한 연구 ◦연구자(연도) : 김민규(2008) ◦연구목적 : 탱크모형을 이용하여 수질오염 총량관리에 필요한 하천기준유량을 산정	◦탱크모형 이용 ◦연구결과를 지석천에 적용	◦하천의 유량관리기준을 수질오염 총량관리로 국한 ◦기존 유량구분방법의 적절성 여부에 대한 검토가 이루어지지 않았음
	4	◦과제명 : 하천수 사용 관리체계 개선(Ⅰ) ◦연구자(연도) : 한강홍수통제소(2007) ◦연구목적 : 하천수 사용특성을 세분하여 분석	◦하천수 사용허가 자료 분류·정리 ◦하천수 사용량 평가(허가현황, 사용량·사용률, 보고현황 등)	◦하천수 사용실태와 특성 분석 ◦하천유량의 변화특성을 분석하지 않았음
본 연구		◦과제명 : 합리적 하천관리를 위한 기준유량 설정방안 ◦연구목적 : 관측 일유량 자료를 통계분석하여 하천관리 기준유량의 설정방안을 제시	◦문헌조사 ◦주요 지점 관측 일유량 통계분석 ◦전문가 자문 ◦하천유량관리자 의견수렴	◦기준유량의 개념 재정립 ◦하천관리 기준유량 설정방안 제시 ◦하천수 사용허가 기준유량 설정방안 제시 ◦유황곡선 개선방안 제시

CHAPTER 2

용어 정의 및 관련 이론 고찰

CHAPTER 2

용어 정의 및 관련 이론 고찰

1. 관련 용어 정의[1)]

1) 하천유량 관련 용어

(1) 유량 크기별

- 첨두(尖頭)유량 : 수문곡선 상에서 가장 높은 지점의 유량
- 최대유량 : 일정한 기간 중 가장 큰 유량
- 홍수량(Q_{10}) : 1년 중 10일은 이보다 저하되지 않는 유량
- 풍수량(Q_{95}) : 1년 중 95일은 이보다 저하되지 않는 유량
- 평수량(Q_{185}, 평균유량) : 1년 중 185일은 이보다 저하되지 않는 유량
- 저수량(Q_{275}, 저수유량) : 1년 중 275일은 이보다 저하되지 않는 유량
- 갈수량(Q_{355}) : 1년 중 355일은 이보다 저하되지 않는 유량
- 최소유량 : 일정한 기간 중 가장 작은 유량

(2) 하천관리 목적별

□ 이수관리

- 저수량(低水量) : 1년 중 275일은 이보다 저하되지 않는 유량
- 기준갈수량 : 1년 중 최소 10일은 유지되는 유량
- 최대갈수량 : 장기간의 하천유량 측정값 중 최저값
- 하천유지유량 : 하천의 유수가 정상적 기능을 유지하기 위해 필요한 유량

1) 물백과사전(http://water.or.kr/encyclopedia/encyclopedia/encyclopedia.do?seq=1649&p_group_seq=66&menu_mode=1) (2020년 4월 14일 검색)

□ 치수관리

- 계획 고수유량 : 특정 단면을 흐르는 최대 설계유량
- 계획홍수량 : 댐이나 하천설계의 기준이 되는 홍수량
- 설계홍수량 : 댐·하천구조물 등 수리구조물의 설계에 사용되는 홍수량
- 첨두홍수량(flood peak) : 홍수기간 동안 발생하는 최대유량값
- 연 최대홍수량 : 1년 중 가장 큰 유출량

□ 환경관리

- 환경·생태유량 : 수생태계의 건강성을 유지하기 위해 필요한 최소한의 유량2)

(3) 하천관리 기준유량별

□ 갈수량

- 기왕 최대갈수량 : 10년 중 1위, 20년 중 2위, 30년 중 3위 갈수량을 의미
- 기준갈수량 : 10년 빈도 갈수량 또는 기왕 최대갈수량을 의미
- 10년 빈도 7일 갈수량 : 7일 간의 연속유량 중에서 가장 작은 값을 그 해의 7일 갈수량으로 하여 갈수빈도분석한 10년 빈도의 갈수량

□ 하천유지유량

- 생활·공업·농업·환경개선·발전·주운 등 하천수 사용을 고려하여 하천의 정상적 기능과 상태를 유지하기 위해 필요한 최소한의 유량3)
- 환경부장관은 하천유수의 상황을 대표할 수 있는 주요 지점(기준지점)을 하천별로 선정하여 기준지점별로 하천유지유량을 정하여 국가수자원관리위원회의 심의를 거쳐 고시해야 하며, 하천유지유량을 확보하기 위해 노력해야 함

□ 하천관리유량

- 하천관리유량이란 적절한 하천관리를 위해 하천이 제 기능을 다할 수 있도록 하천에 흘려보내야 하는 유량으로서 하천유지유량에 이수유량을 더한 유량
  - 하천관리유량=하천유지유량(=평균갈수량과 환경보전유량 중 큰 값)+이수유량

---

2) 물환경보전법. 2017. 법률 제15194호(1월 17일 개정) 제22조의3 제1항.
3) 하천법. 2009. 법률 제17453호(4월 1일 개정) 제51조.

• 평균갈수량이란 자연상태의 하천에서 갈수 시에도 흘렀다고 볼 수 있는 유량으로서 매년의 일유량을 내림차순하여 355일 이상 유지되는 유량의 산술평균

• 하천유지유량 산정요령[4)]에 의하면 하천유지유량은 갈수량을 기준으로 산정하되 다음 기능들을 유지하기 위해 필요한 최소한의 유량

- 하천수질 보전, 하천생태계 보호, 하천경관 보전, 염수침입 방지, 하구막힘 방지, 하천시설물 및 취수원 보호, 지하수위 유지 등

표 2-1 | 하천관리유량 관련 용어의 정의

구 분		용어의 정의
하천유지유량		◦생활·공업·농업·환경개선·발전·주운 등의 하천수 사용을 고려하여 하천의 정상적인 기능 및 상태를 유지하기 위하여 필요한 최소한의 유량
	하천수질 보전	◦환경기초시설 등으로 최대한 처리한 후 남는 오염부하량을 고려하여 적정 수질을 유지하는데 필요한 유량
	하천생태계 보호	◦하천 내 동·식물의 서식처 유지에 적절한 수심·유속 등 수리조건을 제공할 수 있는 유량
	하천경관 보전	◦하천이 풍부하고 정서적으로 안정된 분위기를 제공할 수 있는 자연공간으로 유지될 수 있도록 시각적으로 만족감을 느낄 수 있는 최소한의 유량
	염수침입 방지	◦바닷물이 하구로 침입하여 염분 농도가 높아지면 하천수를 직접 이용할 수가 없게 되므로 이를 억제하거나 침입을 방지할 수 있는 최소한의 유량
	하구막힘 방지	◦하구 유속감소로 인해 하구에서 토사의 퇴적과 해안 모래의 침입 등으로 하구가 막혀 유수소통에 지장을 초래할 수 있으므로 이를 제거하기 위한 유량
	하천시설물 및 취수원 보호	◦하천수위가 낮아져 물속에 잠겨있던 하천시설물이 노출되어 부식되는 것을 방지하거나 또는 취수원 수심 확보를 위해 필요한 유량
	지하수위 유지	◦하천유량의 증감은 하천 주변의 지하수위에 직접적으로 영향을 미치기 때문에 하천변에서 안정적으로 지하수위를 유지할 수 있는 유량
이수유량		◦기득수리권 및 (하천수 사용) 허가수리권에 해당하는 유량으로서 회귀수량도 고려하여 결정

자료 : 국토해양부. 2009. 하천유지유량 산정요령(중하위-2호, 2009.10.30.).

□ 하천수 사용허가 기준유량[5)]

• 하천수 사용허가 기준유량은 자연상태의 하천에서 안정적인 하천수 사용허가가 가능한 유량으로서 하천에서 항시 안정적으로 흐를 것으로 기대되는 기준갈수량에서 사용해서는 안 되는 하천유지유량을 뺀 나머지 유량

- 하천수 사용허가 기준유량 = 기준갈수량 - 하천유지유량

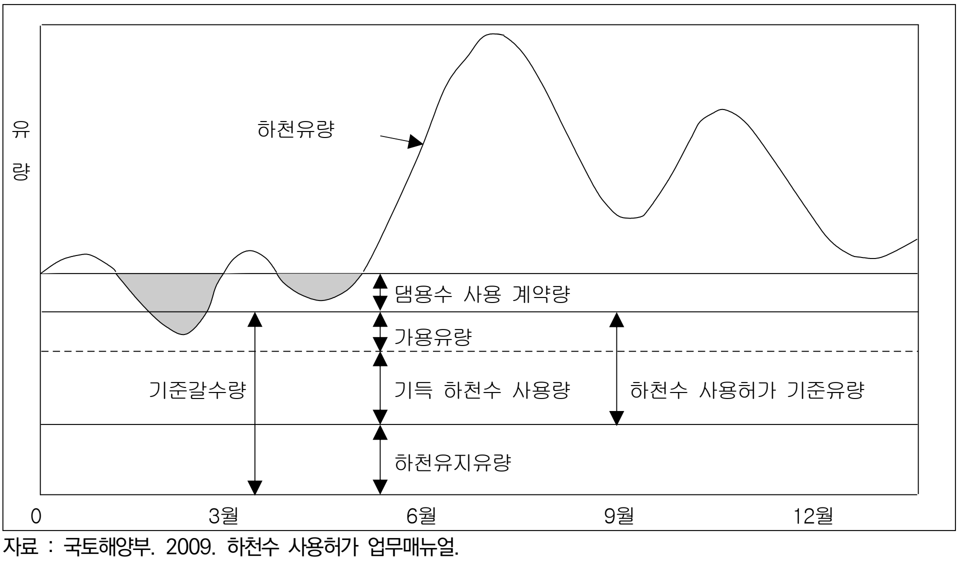
• 수자원 장기종합계획(2006~2020)[6)]에 사용된 37년(1967~2005)간의 일 자

4) 하천유지유량 산정요령(중하위-2호, 2009.01.30.)
5) 국토해양부. 2009. 하천수 사용허가 업무매뉴얼
6) 건설교통부, 2006. 수자원 장기종합계획(2006~2020)

연유량을 이용하여 중권역별로 10년 빈도의 갈수량을 산정하고, 유역면적과 기준갈수량과의 관계를 분석하여 추정식을 개발

- 가용수량이란 사용허가 검토대상지점 소유역의 인위적 물사용이 없는 상태의 하천유량(10년 빈도 자연갈수량)에서 소유역 상류지역의 기득수리권 순물소모량과 하천유지유량을 제외한 유량을 의미
  - 가용수량 = 하천수 사용허가 기준유량(10년 빈도 자연갈수량)-(상류의 생공농업 기득수리권 취수량-회귀수량)-하천유지유량
  - 신규 허가시 가용수량은 물수지분석을 통해 10년 빈도 자연갈수량에서 하천유지유량과 기 허가량을 빼고 산정

그림 2-1 | 유량관련 용어의 개념도



자료 : 국토해양부. 2009. 하천수 사용허가 업무매뉴얼.

□ 하천관리 기준유량

- 건설교통부(2007)[7]에 따르면 "하천관리 기준유량"이란 하천관리의 기준이 되는 유량으로서 하천유지유량, 하천수 사용허가 기준유량, 하천관리유량을 들 수 있음
- 하천유지유량과 하천수 사용허가 기준유량은 고시해야 함

7) 건설교통부. 2007. 하천수 사용 관리체계 개선(Ⅰ)

2) 통계분석 관련 용어

(1) 일반통계 관련 용어[8)9)]

□ 자료의 대표값

- 자료계열에서 중심의 위치를 수치로 나타낸 것을 대표값이라 하며, 가장 많이 사용되는 것이 평균값, 중앙값, 절사평균임
- 평균값(mean)이란 주어진 자료계열의 합을 자료의 개수로 나눈 값으로서 집중경향값을 산정하는데 사용되며, 매우 크거나 작은 극단값들이 포함될 경우에는 왜곡되는 것이 단점
- 중앙값(median, 중위수)이란 자료계열을 크기순으로 나열했을 때 가운데 위치하는 값을 의미하며, 평균처럼 극단값들의 영향을 받지는 않으나 가운데 위치하는 한 두 개 자료값만으로 계산된다는 것이 단점
- 절사평균(trimmed mean)이란 자료계열에서 극단값으로 인해 산술평균에 크게 영향을 줄 경우, 이상치를 제거할 수 있을 만큼 일정 비율(%)을 정해서 그 한도 내의 자료값만으로 구한 평균값
- 최빈값(mode, 최빈수)이란 자료계열에서 가장 자주 나타나는 값을 의미하며, 기성복의 표준치수는 평균이나 중앙값보다는 최빈값을 표준으로 이용

□ 자료의 분포특성

- 자료계열의 분포특성은 퍼진 정도, 왜곡의 정도, 뾰족한 정도 등으로 판단하는데 가장 많이 사용되는 것이 표준편차와 왜곡도임
- 하나의 자료값과 평균값과의 차인 편차의 합을 양수화하기 위해 제곱을 사용한 것이 분산, 분산의 제곱근이 표준편차이며, 분산이 크면 불안정함을 의미
- 왜곡도(skewness, 비대칭도)란 자료계열이 중심축을 기준으로 어느 한쪽으로 치우친 비대칭성 정도를 나타내는 지표로서 왜곡도가 양수이면 자료가 왼쪽에 더 많이 분포해 있어 오른쪽으로 긴 꼬리를 가진다는 것을 의미

---

8) 나무위키(https://namu.wiki/w/%EB%8C%80%ED%91%AF%EA%B0%92) (2020년 4월 15일 검색)
9) 통계청(http://www.kostat.go.kr/file_total/korki_1.pdf)

(2) 분위수 관련 용어[10)]

□ 백분위수(Percentile, 百分位數)

- 백분위수란 자료계열을 오름차순으로 정렬했을 때 백분율로 나타낸 특정위치의 값을 의미하며, 가장 작은 것을 0, 가장 큰 것을 100으로 함
- 100개의 값을 가진 어떤 자료의 20분위수는 그 자료의 값들 중 20번째로 작은 값을 의미하며, 50분위수는 중앙값과 같음

□ 사분위수(Quartile, 四分位數)

- 사분위수란 자료계열을 네 개의 동일 부분으로 나눈 값으로서 극단값의 영향을 받지 않고 자료계열의 범위와 중심 위치를 신속하게 판단할 수 있기 때문에 치우침이 큰 자료계열의 중심위치나 범위를 측정하는데 이용됨
  - 제1사분위수($Q1$)는 자료의 25%가 이 값보다 작거나 같음을 의미하며, 25분위수와 같은 의미임
  - 제2사분위수($Q2$)는 자료의 50%가 이 값보다 작거나 같음을 의미하며, 50분위수와 같은 의미임
  - 제3사분위수($Q3$)는 자료의 75%가 이 값보다 작거나 같음을 의미하며, 75분위수와 같은 의미임
- 사분(위수)범위(IQR : InterQuartile Range)란 제1사분위수와 제3사분위수 간의 거리($Q3 - Q1$)를 의미
- 사분위수는 관측치가 아닌 계산된 값이며, 사분위수를 정확하게 계산하려면 두 관측치 사이를 보간(補間)해야 함

10) 위키백과(https://ko.wikipedia.org/wiki/%EB%B0%B1%EB%B6%84%EC%9C%84%EC%88%98) (2020년 4월 15일 검색)

2. 관련 이론 및 규정

1) 수문분석 관련이론[11)]

(1) 하상(河狀)계수와 유황(流況)계수

- 유황이란 국어사전[12)]에서는 “물의 흐름”, 영어사전[13)]에서는 “강수량, 기온, 증발산, 유역특성 등으로 인한 1년 동안의 유량의 변화”라고 정의
- 연중 유황의 안정도를 수량적으로 나타내기 위해 하상계수와 유황계수를 이용
- 하상계수란 하천 임의지점에서 특정년도의 최대유량에 대한 최소유량의 비로서 하상계수가 크면 이수상 불편하고, 치수상 불리함을 의미
  - 하상계수 = 최대유량 / 최소유량 = Q_{max} / Q_{min}
  - 하상계수는 매년의 최대유량과 최소유량이 변화하고, 이상갈수나 이상홍수에 따라 최대유량이나 최소유량이 크게 변하기 때문에 평균적인 유황을 나타내는데 문제가 있음
  - 또한, 홍·갈수시 수위-유량 관계곡선의 신뢰도가 낮아 부정확한 것이 단점
- 유황계수란 이러한 하상계수의 문제점을 보완하여 홍수시의 유량에 대한 갈수시의 유량의 비를 의미
  - 유황계수 = 홍수시의 유량 / 갈수시의 유량 = Q_{10} / Q_{355}

(2) 유황곡선(flow duration curve)[14)]

□ 정의

- 유황곡선은 하천 임의점에서 일정 시간간격으로 측정된 유량과 순위백분율 관계를 나타낸 것으로서 특정 유량값 이상인 값이 전체 시간의 몇 %에 해당하는가를 나타내는 곡선
- 즉, 하천의 일유량을 1년에 걸쳐서 크기순으로 나열한 곡선으로서 유량지속곡선 또는 유량빈도곡선이라고도 함

---

11) 정종호, 윤용남. 2004. 수자원 설계실무. 서울:구미서관
12) 국어사전(https://ko.dict.naver.com/#/search?query=%EC%9C%A0%ED%99%A9) (2020년 6월 15일 검색)
13) 영어사전(https://en.wikipedia.org/wiki/River_regime) (2020년 6월 15일 검색)
14) 박상덕. 2003. 자연하천의 무차원 유황곡선. 한국수자원학회 논문집 49(8) 33-44

□ 작성방법 및 기준유량

• 매년의 일유량을 내림차순한 후, 동일 순위별로 산술평균하여 가로축은 지속시간, 세로축은 대수 일유량으로 하여 나타내고, 이를 회귀분석하여 유황곡선을 작성

• 유황곡선에 사용되는 기준유량은 365일 중의 지속기간에 따라 갈수량(355일), 저수량(275일), 평수량(185일), 풍수량(95일), 홍수량(10일)으로 구분

• 그러나 저수량, 평수량, 풍수량은 하천관리상의 의미라기보다는 사분위라는 통계학적 개념에 근거한 것으로 사료되며, 갈수량과 홍수량도 통계에서의 이상치(outlier) 개념을 적용하여 각각 97.5% 및 2.5%를 적용한 것으로 사료됨

  - 이상치란 자료의 전체적인 경향에서 동떨어져 있는 관측값으로서 정규분포 상 3sd(표준편차의 3배) 이상인 각각 2.5% 및 97.5% 값을 의미[15)]

• 따라서, 이러한 통계적 관점에의 구분이 하천유량 관리에 있어서도 의미를 가지는 지에 대한 검토가 필요

표 2-2 | 유황분석의 기준유량

구　분	단위	갈수량	저수량	평수량	풍수량	홍수량
지속일수	일	355	275	185	95	10[16)]
해당 비율	%	97.5%	75%	50%	25%	2.5%
365일 환산일수	-	355.875	273.750	182.500	91.250	9.125

자료 : 저자 작성

□ 장점 및 활용

• 유황곡선은 수력에너지 개발, 용수공급, 관개계획 수립, 수문학적 연구 등에 사용되고 있음

• 또한, 유황곡선을 이용하여 하천 임의지점에서 사용 가능한 유량의 크기와 변동성을 판단할 수 있기 때문에 하천의 유량관리에 있어 활용성이 매우 높음

  - 용수원으로부터의 취수 가능성을 판단하기 위한 갈수분석에 이용
  - 비유량법을 이용하여 다른 하천과의 유황을 비교하는데 이용
  - 하천기본계획 수립 시 갈수량·저수량·평수량·풍수량·홍수량 산정에 이용

15) 동신한의 조재성(이상치)(https://nittaku.tistory.com/450) (2020년 6월 15일 검색)
16) 홍수량의 지속일수에 대한 정의는 없으나 유황계수(=홍수시의 유량 Q_{10}/갈수시의 유량 Q_{355})의 개념을 적용하여 10일로 가정하였음

- 유황곡선의 기울기는 완만할수록 홍수와 가뭄이 적고, 지하수가 풍부하여 이·치수에 유리함을 의미하며, 유황곡선 아랫부분의 면적은 다음과 같이 이용됨
  - 저수시설 없이 이용 가능한 수량 파악
  - 연간 총 유출량의 변화 등 유량 변동특성 파악
  - 유황곡선과 수력발전소의 능률곡선을 비교하여 특정유량의 공급이 가능한 기간 즉, 발전소의 사용수량 파악
  - 저수지 축조여부 판단

□ 단점 및 문제점

- 실무에서는 약 10년 간의 일유량 자료를 이용하여 평균적인 유황곡선을 산정하고 있으나 저수량 이하와 풍수량 이상에서 유황곡선의 기울기가 급하고, 매년의 유황변화가 크기 때문에 적용에 어려움이 따르는 것으로 알려져 있음[17)]
- 미계측 유역에 비유량법을 적용하는 경우에도 우리나라 수위표 지점들이 대부분 대하천에 위치하고 있어 중소하천에서 유역면적이나 유역경사와 같이 유역특성이 유사한 지점을 선정하기 어려움
- 또한, 상류지역의 댐 개발이나 토지이용 변화와 같이 유출에 영향을 미치는 여건을 반영하기 어렵기 때문에 적용에 한계가 있고, 지속시간도 알 수 없음

(3) 갈수빈도분석[18)]

□ 개념

- 용수원으로부터의 안정적 취수 여부를 판단하기 위해 “갈수분석”을 실시하며, 갈수분석은 유황곡선과 갈수빈도분석에 의해 실시
- 갈수빈도분석의 종류
  - 확률분포법 : 빈도별 갈수량 분석(Weibull분포, Gumbel분포)
  - 빈도분석법 : 지점의 일유량을 분석
  - 런(run)해석 : 물부족기간 동안의 갈수량을 분석
  - 침 투 해 석 : 침투로 인한 손실량을 분석
  - 기 타 : 계측지점과 미계측지점의 갈수량 상관성을 분석

17) 임성균. 2012. 남강댐 주요 지점의 무차원 유황곡선. 석사학위논문. 경상대학교.
18) 윤용남. 1986. 공업수문학. 서울:청문각.

□ 분석절차(Weibull분포법)

- 지속시간별(1, 2, 5, 7, 10, 30일)로 연최소치 계열을 작성
- 오름차순으로 정렬
- 도시위치 결정 : Weibull공식 ($T = \frac{n+1}{m} \times 100\%$)
  - T : 재현기간, n : 자료 수, m : 자료수를 내림차순했을 때의 나열순위
- 빈도분석 : $X_T = \bar{x} - K_T\, s$
  - X_T : 빈도별 갈수량, $\bar{x}$: 산술평균, K_T : 빈도계수, s : 표준편차
- 초과확률 산정
- 도시 : 가로축은 재현기간(T), 세로축은 대수 일유량($\log X_T$)
- 회귀분석
- 빈도별 갈수량 산정

(4) 수문학적 지속성

□ 기본개념

- 하천유량 자료계열의 수문학적 지속성이란 수문량이 짧은 기간(시간 또는 일) 동안에 큰 값은 크게 작은 값은 작게 지속되려는 성질을 의미
- 수문학적 지속성을 가지지 않으면 수문량이 무작위로 발생한다고 가정하여 무작위 발생방법을 적용하며, 지속성을 가지면 자기회귀형 발생방법을 적용함
- 무작위 발생방법은 연유량·계절유량·월유량에만 적용하며, 자기회귀형 발생방법은 일유량에도 적용할 수 있음

□ 판단방법

- 수문학적 지속성은 여러 가지 방법으로 판단할 수 있으나 본 연구에서는 다음과 같이 정의되는 "1차 계열상관계수"를 이용하여 판단[19)]
  - $$r_1 = \frac{C_1}{C_o} = \frac{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n-1}(Q_t - \overline{Q_t})(Q_{t+1} - \overline{Q_t})}{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}(Q_t - \overline{Q_t})^2}$$

19) 윤용남. 1986. 공업수문학. p.496-498

- 여기서, n은 유량자료계열 Q의 자료수, $\overline{Q_t}$는 평균, C_o는 0차 계열공분산 (serial covariance), C_1은 1차 계열공분산, $r_1 \rightarrow 0$이면 무작위성 시계열, $r_1 \rightarrow 1$이면 지속성이 강한 시계열임을 의미

(5) 경향성[20)]

□ 기본개념

- 경향성(trend)이란 평균이나 분산의 크기가 증가하거나 감소하는 것을 의미하며, 경향성이 있다고 판단되면 적절한 조정기준이 없고, 해당 자료계열을 기각할 수 있을 정도로 자료계열이 충분하지 못한 것이 현실임
- 본 연구에서는 연구목적상 전기간 일유량의 변화경향만을 고찰하고, 경향성을 검토하지는 않음

□ 판단방법

- 경향성 판단방법에는 Kendall 검정, Hotelling-Pabst 검정, Wald-Wolfowitz 검정 등이 있으나 본 연구에서는 다음과 같은 Hotelling-Pabst 검정을 적용
- 자료 수가 n인 자료계열 X에서 오름차순으로 정렬한 자료계열 Y를 작성한 후, 통계량 H를 다음과 같이 정의하면, 통계량 H는 평균 μ와 표준편차 σ의 정규분포를 따름
  - $H = \sum_{i=1}^{n} [R(x_i) - i]^2, \quad \mu = \dfrac{n(n^2-1)}{6}, \quad \sigma = \dfrac{n(n^2-1)}{6\sqrt{(n-1)}}$
  - 여기서, $R(x_i)$는 자료계열 X의 순위(rank)임
- 통계량 H가 정규분포를 따르므로 다음과 같이 표준정규변량 $z = \dfrac{H-\mu}{\sigma}$를 산정하여 z가 표준정규분포 양측검정의 95% 신뢰도의 한계값인 $z = \pm 1.96$ 사이에 들면 자료계열은 경향성을 가지지 않는 것으로 판단

(6) 이상치 검정[21)]

□ 정의 및 판단기준

20) 정종호, 윤용남. 2004. 수자원 설계실무. p.46-51
21) 정종호, 윤용남. 2004. 수자원설계 실무. p.46

- 이상치란 전체 관측치의 경향에서 현저하게 벗어난 자료로서 이상치를 수정하거나 기각하면 빈도해석결과가 상당히 달라짐
- 왜곡도가 0.4 이상이면 고이상치에 대한 검정, 왜곡도가 -0.4 이하이면 저이상치 검정을, −0.4~0.4 이내이면 고이상치와 저이상치 모두를 검정해야 함

□ 검정방법 및 처리

- 이상치 검정은 Grubbs & Beck 검정이 널리 사용되는데 이 방법은 정규분포로 가정하고 최고치나 최저치가 유의수준 10%에 드는지의 여부를 검정하는 방법임
  - 고이상치 기준 : $y_H = \bar{y} + K_n \sigma_y$, 저이상치 기준 : $y_L = \bar{y} - K_n \sigma_y$
  - $k_n = -3.62201 + 6.28446\, n^{1/4} - 2.49835\, n^{1/2} + 0.491436\, n^{3/4} - 0.037911\, n$
  - 여기서, $y = \ln x$, $\bar{y}$는 평균, σ_y는 표준편차, K_n은 표본수에 따른 이상치 검정 빈도계수(10% 유의수준), n은 자료수
- 이상치가 자료의 오차나 유역의 상태변화에 의한 것이 명확한 경우에는 제외하는 것이 원칙이지만 인근 관측소의 자료와 비교하여 확연하지 않을 경우에는 가급적 제외하지 않는 것이 실무적으로 타당함

2) 하천유량관리 관련규정

(1) 홍수특보 관련 규정

□ 근거 규정

- 수자원의 조사·계획 및 관리에 관한 법률 시행규칙 제2조 제3항에서는 홍수특보에 대하여 다음과 같이 규정
- 홍수통제소장은 하천구역 및 그 배후지역에서 홍수로 인명과 재산에 대한 중대한 피해가 예상될 때에는 별표 1의 기준에 따라 홍수특보를 특별한 주의를 요구(홍수주의보)하거나 경보하는 예보(홍수경보)로 구분하여 발령해야 함

□ 홍수주의보 발령[22]

22) 수자원의 조사·계획 및 관리에 관한 법률 시행규칙. 2018. 환경부령 제764호(6월 8일 타 법 개정) 제2조 제3항, 제3조 제1항.

- 하천 수위가 계속 상승하여 다음 각 사항에 따른 수위를 고려하여 정한 홍수특보지점의 기준수위(주의보수위)에 가까워지거나 초과할 것이 예상되는 경우
  - 계획홍수량의 50/100에 해당하는 유량이 흐를 때의 수위
  - 최근 5년의 평균 저수위로부터 계획홍수위까지 60/100에 해당하는 수위
- 여기서, 계획홍수량이란 다음과 같이 규정되며, 하천법 시행령 제24조 제2항 제6호 나목 및 다목에 따른 계획홍수량 및 계획홍수위[23])를 말함
  - 하천유역개발 계획, 홍수방어(조절)계획, 이수계획, 내수배제계획, 하천환경관리계획 등 각종 계획에 맞추어 이미 산정된 기본홍수를 종합적으로 분석하여 합리적으로 배분·조절할 수 있도록 계획기준점이나 하천시설 설치지점, 지류와 본류의 합류점 등에서 하천개발계획을 위해 책정된 홍수량[24])

□ 홍수경보 발령

- 하천의 수위가 계속 상승하여 다음 각 사항에 따른 수위를 고려하여 정한 홍수특보지점의 기준수위(경보수위)에 가까워지거나 초과할 것이 예상되는 경우
  - 계획홍수량의 70/100에 해당하는 유량이 흐를 때의 수위
  - 최근 5년의 평균 저수위로부터 계획홍수위까지 80/100에 해당하는 수위

(2) 갈수예보(渴水豫報) 기준[25])

□ 근거 규정

- 수자원법 시행규칙 제3조 제1항에서는 갈수예보에 대하여 다음과 같이 규정
- 홍수통제소장은 법 제8조 제1항에 따라 갈수로 인명과 재산의 피해가 예상되는 지역에 대하여 별표 2의 기준에 따라 갈수예보를 관심(1단계), 주의(2단계), 경계(3단계), 심각(4단계)으로 구분하여 발령해야 함

□ 갈수예보 발령

- 관심단계는 특정지역에 갈수 발생의 징후가 감지되는 다음 하나의 경우

23) 계획홍수위는 계획홍수량을 유하시킬 수 있는 하도의 종단형 및 횡단형을 고려하여 결정된 홍수위 (국가건설기준센터(http://www.kcsc.re.kr/StandardCode/Viewer/30103#title-82)) (2020년 4월 14일 검색)
24) 하천용어해설(http://www.molit.go.kr/brocm/USR/WPGE0201/m_24277/DTL.jsp) (2020년 4월 14일 검색)
25) 수자원의 조사계획 및 관리에 관한 법률 시행규칙. 2018. 환경부령 제764호(6월 8일 타 법 개정) 제2조 제3항, 제3조 제1항.

- 예보지점의 수문량이 감소하여 관심단계 설정기준에 도달하거나 하회할 경우
- 주의단계가 발령된 갈수예보지점의 수문량이 계속 증가하여 관심단계 설정기준에 도달하거나 상회할 경우
- 예보지점의 계획수문량에 조정계수를 곱한 값 또는 이에 상당하는 지수

• 주의단계는 특정지역이 갈수피해를 대비해야 하는 다음 하나의 경우
- 관심단계가 발령된 갈수예보지점의 수문량이 계속 감소하여 주의단계 설정기준에 도달하거나 이를 하회할 경우
- 경계단계가 발령된 갈수예보지점의 수문량이 계속 증가하여 주의단계 설정기준에 도달하거나 상회할 경우
- 예보지점에서 계획수문량의 80/100에 조정계수를 곱한 값 또는 이에 상당하는 지수

• 경계단계는 특정지역이 갈수피해 대비를 강화해야 하는 다음 하나의 경우
- 주의단계가 발령된 갈수예보지점의 수문량이 계속 감소하여 경계단계 설정기준에 도달하거나 이를 하회할 경우
- 심각단계가 발령된 갈수예보지점의 수문량이 계속 증가하여 경계단계 설정기준에 도달하거나 상회할 경우
- 예보지점에서 계획수문량의 50/100에 조정계수를 곱한 값 또는 이에 상당하는 지수

• 심각단계는 갈수의 전개 규모와 범위가 매우 심각한 수준으로 확산되어 위기 발생이 확실한 경우로서 경계단계가 발령된 갈수예보지점의 수문량이 계속 감소하여 심각단계 설정기준에 도달하거나 이를 하회할 경우
- 예보지점에서 계획수문량의 30/100에 조정계수를 곱한 값 또는 이에 상당하는 지수

• 여기서, 관련 용어의 정의는 다음과 같음
- 계획수문량이란 하천·댐 등 수자원시설을 정상적으로 관리하기 위한 시기별 최소 수문량
- 조정계수란 유역면적·하상경사 등을 반영한 특성인자로서 지점의 주변상황 및 수자원시설의 안전 등을 고려한 조정값
- 지수란 갈수에 영향을 미치는 강수량, 하천유량, 저수량, 토양수분량 등 여러 인자를 고려하여 갈수예보지점별로 산정한 값

(3) 수문자료 및 하천수 관련 규정[26) 27)]

□ 용어의 정의

- 유량이라 함은 하천의 횡단면을 단위시간에 통과하는 물의 부피
- 일평균 유량이란 1일을 통하여 1시부터 24시까지 매시 유량의 합을 24로 나눈 유량
- 갈수량은 1년을 통하여 355일은 이보다 작지 않은 유량
- 기준갈수량은 수자원의 조사·계획 및 관리에 관한 법률 제17조에 따른 수자원 장기종합계획 등의 일 자연유량을 빈도분석하여 산정한 10년 빈도 갈수량
- 하천유지유량은 하천법 제51조에 따른 하천의 정상적인 기능 및 상태를 유지하기 위한 최소한의 유량
- 하천수 사용허가 기준유량은 하천법 시행령 제56조 제2항에 따라 홍수통제소장이 고시하는 유량으로, 기준갈수량에서 하천유지유량을 뺀 값
- 하천수 사용허가 가용유량은 해당 하천의 기준유량, 기존 하천수 허가량 및 물수지분석 결과를 고려하여 정한 값으로, 신규 허가가 가능한 유량

□ 유량의 산정방법

- 수위-유량관계곡선식을 활용할 경우에는 곡선식 적용(기간분리, 구간분리, 수위범위 등)의 적정성 등을 검토
- 자동유량측정시설 측정자료를 활용할 경우에는 유량산정 방법, 시설 운영현황, 결측 및 이상치 보간방법 등의 적정성을 검토

26) 하천수 사용허가 세부기준. 2019. 환경부고시 제2019-259호(12월 31일 제정)
27) 수문자료의 공인 및 저장 배포 활용 기준. 2017. 국토교통부고시 제2017-793호(11월 29일 일부개정) 제6조.

3. 종합 및 시사점

1) 하천유량 관련 용어 정리

• 자연갈수량, 10년 빈도 갈수량, 10년 빈도 7일 갈수량, 하천유지유량 등 갈수량과 관련되어 혼재되어 있는 용어 중 불필요한 용어들은 자주 사용되는 용어로 정리

• 하천관리유량, 하천유지유량, 평균갈수량, 환경보전유량, 기준갈수량 등 평상시의 하천유량관리와 관련된 용어들도 자주 사용되는 용어로 정리

2) 하천관리 기준유량의 정의와 개념 재정립

• 하천관리 기준유량의 개념을 하천관리자가 적절한 관리기간과 관리기간별 관리유량에 따라 필요한 조치를 취하는 개념으로 재정립

• 현재의 하천관리 기준유량은 하천유지유량, 하천수 사용허가 기준유량, 하천관리유량 등 여러 가지를 모두 포함하는 개념이므로 관리목적에 따라 구분

• 수자원 장기종합계획에서 1967~2005의 자료를 이용하여 산정한 기준갈수량도 2006년 이후의 일유량 변화를 고려하여 재산정해야 하며, 분석기간별 평균유량을 파악하기 위해서 "평년(30년 평균)[28]" 개념도 도입할 필요가 있음

• 또한, 하천관리자가 평상시·갈수기·홍수기에 관리목표로 설정해야 하는 적절한 기준유량의 설정방안도 마련할 필요가 있음

3) 하천수 사용허가 기준유량의 정의와 산정방법

• 2006년 기준갈수량 산정 이후의 일유량 변화를 고려하여 하천수 사용허가의 기준유량으로 사용되고 있는 10년 빈도 갈수량을 재산정할 필요가 있음

• 10년 빈도 갈수량 이외에 하천수 사용허가 기준유량으로 사용할 수 있는 적절한 다른 유량이 있는지도 검토할 필요가 있음

28) 평년(平年, Climatological Normal)이란 세계기상기구(WMO)에서 과거 30년간의 평균을 의미하는 것으로 국제적으로 합의

4) 유황곡선 작성의 문제점 개선

- 적용개념의 문제점
  - 현재의 유황곡선은 일유량이 무작위하게 발생한다는 가정 하에 매년의 일유량을 크기순으로 내림차순하여 동일 순위끼리 산술평균한 순위별 평균값을 이용하고 있으나 일유량은 지속성이 있어 무작위하게 발생하지 않음
  - 따라서 매년 주기적으로 반복되는 연속성을 가지는 연단위 일유량 자료를 이용하여 분석할 필요가 있음
- 유황분석 기준유량의 문제점
  - 유황곡선에 사용되는 갈수량, 저수량, 평수량, 풍수량, 홍수량과 하천관리상 중요성을 가지는 유량과의 관련성을 검토할 필요가 있음
- 유황곡선 활용상의 문제점
  - 지속기간을 고려할 수 없음

5) 하상계수 및 유황계수의 문제점 개선

- 특정 지속기간에 해당하는 유량들만으로 연중 일유량의 안정성 정도를 판단하기에는 무리가 있음
  - 특히, 우리나라는 연중 일유량의 변화, 즉, 최대유량과 최소유량의 차이가 커서 하상계수나 유황계수 만으로는 연중 일유량의 안정성 정도를 판단하기 어려움
- 따라서, 연중 일유량 전체를 이용하여 일유량의 안정성 정도를 판단하기 위한 새로운 방법을 마련할 필요가 있음

CHAPTER 3

사례분석을 통한 하천 일유량의 특성분석

CHAPTER 3

사례분석을 통한 하천 일유량의 특성분석

1. 통계적 특성분석

1) 구분기간별 특성분석

(1) 분석개요

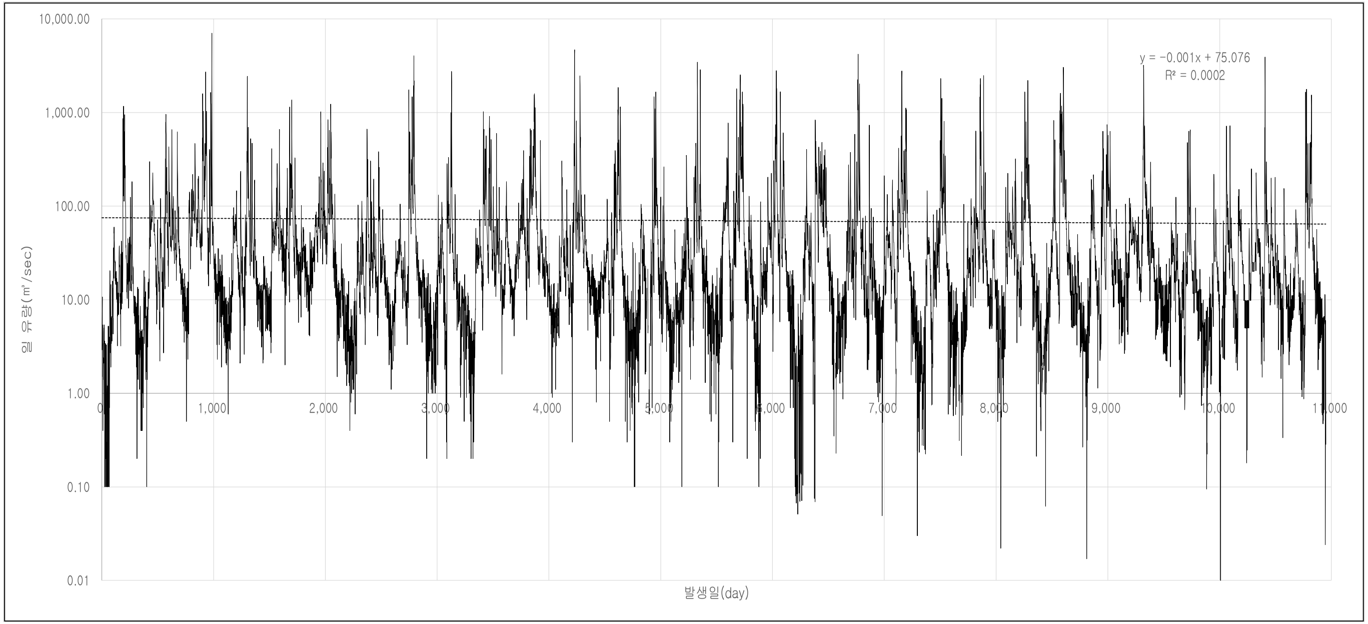
- 5대강 본류 상류의 4개 다목적댐(한강 소양강댐, 낙동강 안동댐, 금강 대청댐, 섬진강 섬진강댐) 지점을 분석대상으로 하며, 영산강은 상류에 다목적댐이 없어 제외
- 자료기간은 통계분석의 유의성 확보를 위한 최소 기간인 30년(1988~2017년)이며, 4개 다목적댐의 일평균 유입량 자료를 이용
- 전기간과 연단위로 구분하여 통계적 특성과 수문통계학적 특성을 고찰하되, 통계적 특성은 구분기간별 특성과 분위수별 특성으로 세분하여 분석
- 구분기간별 특성은 전기간과 연단위로 구분하여 장기적 변동경향, 평균, 표준편차, 왜곡도, 변동계수 등 통계자료로서의 기본적 특성과 수문학적 지속성 및 경향성 등 수문통계자료로서의 특성을 고찰
  - 전기간 분석은 30년이라는 자료기간 전체를 하나의 기간으로 하여 분석
  - 연단위 분석은 전기간의 자료를 매년의 동일 일자별로 배열한 후 분석

(2) 분석결과

□ 전기간 일유량의 특성

- 전기간의 일유량은 선형적으로 완만하게 감소하는 추세이고, 지속성을 가지며, 왼쪽으로 왜곡됨

그림 3-1 | 분석지점의 전기간 일유량 변동경향(한강 소양강댐)



자료 : 저자 작성

• 4개 지점의 유량은 모두 지속적으로 완만하게 감소하는 경향을 나타내었으며, 정규분포에 비해 매우 뾰족하고, 왼쪽으로 왜곡되는 것으로 나타났음

• 또한, 4개 지점의 변동계수가 2.933~3.394로 나타나 평균에 대한 표준편차가 커서 최대유량과 최소유량의 차이가 크다는 것을 알 수 있음

□ 연단위 일유량의 특성

• 전기간의 일유량을 연단위로 구분하여 통계적 특성을 고찰한 결과, 일유량은 여전히 지속성을 가지며, 왼쪽으로 왜곡됨

• 대청댐 지점의 변동계수는 전기간 분석에서는 2.933이었으나 연단위 분석에서는 1.457로 낮아져 일유량의 연중 편차가 완화되는 등 4개 분석지점 모두에서 전기간 분석보다 연단위 분석의 변동성이 완화되는 것으로 나타났음

표 3-1 | 분석지점의 전기간 일유량 통계특성

구 분		한강(소양강댐)	낙동강(안동댐)	금강(대청댐)	섬진강(섬진강댐)
분석개요	자 료 기 간	1988~2017	1988~2017	1988~2017	1988~2017
	자 료 수	10,950개	10,950개	10,950개	10,950개
	분 석 연 수	30년	30년	30년	30년
변동경향	경 향 식	$y=-0.0010x+75.076$	$y=-0.0009x+35.847$	$y=-0.0017x+80.807$	$y=-0.0002x+16.378$
	판 단 결 과	완만한 감소	완만한 감소	완만한 감소	완만한 감소
기본분석	일유량의 합	762,853㎥/sec	339,608㎥/sec	847,181㎥/sec	191,622㎥/sec
	일 평균유량	69.667㎥/sec	31.014㎥/sec	77.368㎥/sec	17.500㎥/sec
	표 준 편 차	228.093㎥/sec	96.907㎥/sec	226.916㎥/sec	59.390㎥/sec
지 속 성	판 단 계 수	0.656	0.612	0.680	0.547
	판 단 결 과	지속성 있음	지속성 있음	지속성 있음	지속성 있음
왜 곡 도	왜곡도 계수	11.271	12.445	9.306	10.218
	판 단 결 과	왼쪽으로 왜곡	왼쪽으로 왜곡	왼쪽으로 왜곡	왼쪽으로 왜곡
변 동 성	변 동 계 수	3.274	3.125	2.933	3.394

자료 : 저자 작성

표 3-2 | 분석지점의 연단위 일유량 통계특성

구 분		한강(소양강댐)	낙동강(안동댐)	금강(대청댐)	섬진강(섬진강댐)
지속성	판 단 계 수	0.676	0.640	0.852	0.573
	판 단 결 과	지속성 있음	지속성 있음	지속성 있음	지속성 있음
왜곡도	왜곡도 계수	7.246	7.910	3.981	7.512
	판 단 결 과	왼쪽으로 왜곡	왼쪽으로 왜곡	왼쪽으로 왜곡	왼쪽으로 왜곡
변동성	변 동 계 수	2.886	2.718	1.457	2.961

자료 : 저자 작성

2) 분위수별 특성분석

(1) 분석개요

- 전술한 바와 같이 하상계수나 유황계수만으로는 평균적인 일유량의 변화특성을 파악하기 어렵기 때문에 연중 일유량의 변화를 대표할 수 있는 새로운 방법이 필요하므로 본 연구에서는 분위수를 이용하여 유량의 변화특성을 고찰
- 매년의 동일 일자별 일유량 자료를 이용하여 사분위수와 백분위수를 산정한 후, 각 분위수별 합과 일평균을 산정하고, 산술평균에 대한 분위별 총합의 상대적 크기를 비교
- 또한, 관리기간 설정 시 활용하기 위해 분위수별로 일별 누계 유량을 산정하여 기울기의 변화추이를 고찰

(2) 분석결과

□ 백분위수

- 4개 분석지점에 대하여 백분위수를 산정한 결과, 90분위수 이상에 해당하는 유량이 전체 유량합의 약 50% 정도를 차지하는 것으로 나타나 큰 유량값에 의해 전체 자료계열이 크게 왜곡되어 있다는 것을 확인할 수 있음
- 중앙값인 50분위수는 전체 유량합의 3.0~4.1% 정도를 차지하는 것으로 나타났음

□ 사분위수

- 사분위법의 $IQR = (Q3 - Q1)$을 이용하여 정상 상하한 및 이상 상하한을 산정하여 음수발생 여부 등 평수관리 기준유량으로서의 적정성 여부를 판단
  - 정상상한 $= Q1 + 1.5 \times (Q3 - Q1)$, 정상하한 $= Q1 - 1.5 \times (Q3 - Q1)$
  - 이상상한 $= Q1 + 3.0 \times (Q3 - Q1)$, 이상하한 $= Q1 - 3.0 \times (Q3 - Q1)$
- 평수관리 기준유량으로서 사분위의 적용가능성을 검토한 결과, 정상 하한값이나 이상 하한값이 음수로 표현되어 물리적 의미를 갖지 못하는 경우가 발생
- 또한, 정상 상한값이나 이상 상한값이 일최대유량을 초과하는 경우가 발생하는 등 평수관리 기준유량으로 적용하는데 문제가 있는 것으로 나타났음

□ 분위수별 누계유량

- 분위수별 누계유량의 상대적 크기를 비교해 보면 분위수별 유량의 상대적 크기를 직관적으로 판단할 수 있음
- 또한, 누계유량의 기울기 변화와 최빈유량의 일별 변화를 동시에 그림으로 나타내 보면, 연중 관리기간을 적절히 구분하는데 유용함
- 30년 간의 일유량을 연단위로 구분하여 매년의 동일 일자별로 정리한 후, 보간법을 이용하여 일자별로 분위별 누계값을 산정
- 분석결과, 90분위수에서 10분위수로 갈수록 누계유량 간의 격차가 줄어들고 누계곡선의 경사도 완만해지는 양상을 나타냈음
- 분위수별 누계유량의 경사 변화지점을 기준으로 관리기간을 구분할 수 있음

표 3-3 | 분석지점의 분위별 누계유량

(단위 : ㎥/년, %)

구 분	한강(소양강댐)		낙동강(안동댐)		금강(대청댐)		섬진강(섬진강댐)	
	누계 유량	구성비	누계 유량	구성비	누계 유량	구성비	누계 유량	구성비
10분위	6,491.038	0.851	2,632.488	0.775	8,975.536	1.059	566.634	0.296
20분위	12,248.547	1.606	5,272.551	1.553	15,743.802	1.858	1,716.995	0.896
30분위	17,215.943	2.257	7,704.760	2.269	21,104.006	2.491	2,858.005	1.491
40분위	22,566.946	2.958	10,471.729	3.083	27,077.291	3.196	4,093.058	2.136
50분위	29,574.263	3.877	13,980.185	4.117	34,806.896	4.109	5,759.623	3.006
60분위	38,997.645	5.112	18,223.364	5.366	44,740.494	5.281	7,968.807	4.159
70분위	53,364.108	6.995	24,144.294	7.109	60,743.292	7.170	11,591.503	6.049
80분위	78,430.951	10.281	34,425.275	10.137	87,367.233	10.313	18,215.757	9.506
90분위	129,850.990	17.022	55,853.341	16.446	142,608.127	16.833	33,440.498	17.451
90이상	374,112.958	49.041	166,900.370	49.145	404,014.641	47.689	105,411.136	55.010
계	762,853.389	100.000	339,608.357	100.000	847,181.318	100.000	191,622.016	100.000

자료 : 저자 작성

2. 하천관리 목적별 특성분석

1) 유황분석

(1) 분석개요

- 4개 분석지점에 대하여 기존의 유황분석 기준유량(갈수량, 저수량, 평수량, 풍수량, 홍수량)을 산정하여 유황분석의 문제점을 검토

- 연중 영(0)유량 일수가 10일 이상이어서 갈수량 산정 기준일인 355일에 해당하는 자연갈수량이 영(0)으로 산정되는지의 문제점을 고찰

- 또한, 하상계수와 유황계수가 연중 유황변화를 적절히 대표할 수 있는지의 여부를 고찰
- 이를 위해, 30년 간의 일유량을 연단위로 구분하여 내림차순한 후, 매년의 355일(갈수량), 275일(저수량), 185일(평수량), 95일(풍수량), 10일(홍수량)에 해당하는 일유량들을 산술평균하여 유황분석 기준유량을 산정

(2) 분석결과

- 자연상태에서의 하상계수는 최대 64,793(안동댐)에서 2,618(대청댐)에 이르지만 유황계수는 이보다 안정적인 수치(안동댐 547, 대청댐 89 등)를 보임
- 그럼에도 불구하고 섬진강의 유황계수는 1,997에 이르는 등 수십에서 수천에 이르고 있어 유황변화가 매우 크다는 것을 알 수 있음

표 3-4 | 분석지점의 연단위 일유량 특성

구 분	분 석 항 목	단 위	한 강(소양강댐)	낙동강(안동댐)	금 강(대청댐)	섬진강(섬진강댐)
갈 수 량 관 련	전기간 영유량 일수	일/30년	117	148	4	537
	일평균 최소유량(>0)	㎥/sec	0.531	0.387	5.312	0.338
기 존 유황분석	갈수량(355일)	㎥/sec	1.811	1.074	8.642	0.252
	저수량(275일)	㎥/sec	9.007	4.953	16.660	1.855
	평수량(185일)	㎥/sec	21.155	10.112	26.489	4.346
	풍수량(95일)	㎥/sec	49.119	23.054	51.702	10.862
	홍수량(10일)	㎥/sec	448.264	203.074	509.748	126.650
하상계수(30년 평균)		-	23,562	64,793	2,618	10,870
유황계수(30년 평균)		-	670	547	89	1,997
연평균 일유량(30년 평균)		㎥/sec	69.667	31.014	77.368	17.500

자료 : 저자 작성

- 또한, 30년 동안의 영유량 일수가 연중 10일 이상인 경우가 발생하여 연중 355일에 해당하는 유량인 자연갈수량이 영으로 산정되는 문제가 발생
  - 소양강댐 117일(연 3.9일), 안동댐 148일(4.9일), 섬진강댐 537일(연 17.9일) 등
- 따라서, 기존의 유황분석방법으로 자연갈수량을 산정하는 것은 바람직하지 않으며, 유황계수 역시 수백에서 수천에 이르는 것으로 나타나 어느 지점의 연평균 유황을 대표하는 계수로 사용하기에는 문제가 있음

2) 홍수특성 분석 및 홍수조절 기준유량 설정방안

(1) 홍수량(Q_{10}) 적용방안

□ 분석개요

- 홍수특성을 고찰하기 위해 30년간의 일유량 중 최대치 계열을 추출하여 그 크기변화를 고찰하고, 이를 이용하여 매년의 홍수조절 기준유량을 설정할 수 있는지의 여부를 검토
- 연중 홍수조절이 필요한 기준유량을 설정하기 위해 30년간의 동일 일자별 일최대유량 자료를 이용하여 일자별 최대유량 365개를 도출하고, 이 중 이상치로 판단할 수 있는 상위 2.5%(10위/365위)에 해당하는 유량(Q_{10})을 선정
- 이 유량을 기준으로 지난 30년 간의 일최대유량 중 이 유량값 이상이 되는 유량을 홍수조절 기준유량으로 설정
  - 일반적으로 이상치의 범위를 상하한 각각 2.5%로 하기 때문에 상위 2.5%에 해당하는 유량은 이상 상한치로서 조절이 필요한 유량이라고 판단

□ 분석결과

- 30년간의 일최대유량(㎥/sec)은 소양강댐(7,063), 대청댐(5,321), 안동댐(3,499), 섬진강댐(1,533) 순
- 일평균유량(㎥/sec)은 대청댐(587.6), 소양강댐(536.5), 안동댐(256.0), 섬진강댐(157.1) 순
- 홍수조절 기준유량(Q_{10}, ㎥/sec)은 소양강댐(345), 대청댐(335), 안동댐(120), 섬진강댐(77), Q_{10}이상인 유량의 합(㎥/sec)은 소양강댐(3,838), 대청댐(3,817), 안동댐(1,405), 섬진강댐(883) 순

표 3-5 | 분석지점의 일유량 특성 및 홍수조절 효과

구 분	단 위	한강(소양강댐)	낙동강(안동댐)	금강(대청댐)	섬진강(섬진강댐)
일 최대유량	㎥/sec	7,062.6	3,499.3	5,321.2	1,533.1
일 평균유량	㎥/sec	536.5	256.0	587.6	157.1
홍수조절 기준유량					
기 준 홍 수 량 (Q_{10})	㎥/sec	345	120	335	77
Q_{10} 이상 유량의 누계	㎥/sec/년	3,838	1,405	3,817	883
홍 수 조 절 효 과	-	11.1	11.7	11.4	11.5

자료 : 저자 작성

- 따라서, 30년 간의 일유량 중, 상위 2.5%에 해당하는 Q_{10} 이상의 일유량을 조절했다면 홍수조절 기준유량 대비 약 11배 정도의 홍수조절 효과를 거둘 수 있었을 것으로 나타났음

(2) 이상치 검정기준 적용방안

□ 분석개요

- 연단위 분석에서 30년 중 일최대유량이 매일 연속하여 발생할 확률은 거의 없기 때문에 홍수조절 기준유량을 결정하기 위한 합리적이고 새로운 방안 마련이 필요
  - 1년 중 매일 연속하여 일최대유량이 발생할 확률은 $(1/30)^{365} \approx 0$으로서 거의 0에 가까움
- 따라서, 연중 홍수조절이 필요한 기준유량을 설정하기 위한 방안의 하나로 이상치 검정기준의 적용 가능성을 검토
  - 본 연구에서는 Grubbs & Beck 검정[1)]에 의한 검정기준치의 상한값을 홍수조절 기준유량으로 적용하는 방안을 검토

□ 분석결과

- 검정기준치의 하한값이 음수로 나타나 물리적 의미를 갖지 못하거나 검정기준치의 상한값이 일최대유량을 초과하는 것으로 나타나 홍수조절 기준유량으로 적용하기에는 문제가 있는 것으로 나타났음

표 3-6 | 분석지점의 Grubbs & Beck 검정기준치 산정결과

구 분	단 위	한 강(소양강댐)	낙동강(안동댐)	금 강(대청댐)	섬진강(섬진강댐)
검정상한값 〉 일최대유량	일/년	47	36	35	21
검정하한값 〈 영유량	일/년	365	365	364	365

자료 : 저자 작성

1) 정종호, 윤용남, 2004, 수자원설계 실무, 구미서관, p.46

3) 갈수특성 분석 및 갈수관리 기준유량 설정방안

(1) 분석개요

- 현재의 갈수량 산정방법은 다음과 같이 다원화되어 있음
  - 기왕 최대갈수량 : 최근 10년 중 1위 갈수량, 20년 중 2위 갈수량, 30년 중 3위에 해당하는 갈수량 중 가장 작은 갈수량
  - 자연갈수량 : 기존 유황분석에 의해 산정된 지속기간 355일에 해당하는 유량
  - 기준갈수량 : 자연갈수량을 갈수빈도분석하여 산정한 10년 빈도의 갈수량
  - 10년 빈도 7일 갈수량 : 매년의 일유량 중 연속된 7일간의 갈수량 중 최소값을 그 해의 7일 갈수량으로 하여 갈수빈도분석한 10년 빈도의 갈수량
- 따라서, 갈수량 산정방법별로 갈수량의 크기, 보장확률, 일평균 유량 등 갈수관리 기준유량으로서의 적용가능성을 검토
  - 30년간 일유량 자료를 이용하여 매년의 최소 일유량을 도출하고, 이를 기준으로 최근 10년, 20년, 30년 중 각각 1위, 2위, 3위에 해당하는 기왕 최대갈수량을 선정
  - 또한, 매년의 자연갈수량, 기준갈수량, 10년 빈도 7일 갈수량을 산정하여 매년의 최소유량 계열, 10분위수 계열, 20분위수 계열의 크기를 비교하여 갈수관리 기준유량으로서의 적용 가능성을 검토

(2) 분석결과

□ 기존 갈수량의 크기 비교

- 갈수량 산정기준이 되는 유량들을 산정하여 비교해 본 결과, 그 크기는 자연갈수량 > 10년 빈도 갈수량 > 10년 빈도 7일 갈수량 순으로 나타났음

표 3-7 | 분석지점의 갈수량 크기 비교

(단위 : ㎥/sec)

구 분	유량의 명칭	한강(소양강댐)		낙동강(안동댐)		금강(대청댐)		섬진강(섬진강댐)	
		유량값	내림순위	유량값	내림순위	유량값	내림순위	유량값	내림순위
자연갈수량	기존 유황분석	1.811	3	1.074	3	8.642	3	0.252	3
	동일 일자별	6.217	1	4.264	1	18.027	2	2.584	1
	5일평균 최빈유량	4.463	2	3.860	2	19.274	1	2.552	2
	10년 1위 갈수량	0.010	6	0.002	6	2.034	5	0.013	6
10년 빈도 갈수량		0.303	4	0.199	4	3.097	4	0.040	4
10년 빈도 7일 갈수량		0.027	5	0.009	5	0.734	6	0.027	5

자료 : 저자 작성

- 기왕 최대갈수량을 최근 10년 중 1위, 20년 중 2위, 30년 중 3위를 기준으로 설정하는 방법은 갈수가 동일한 빈도로 발생한다는 개념에 근거하고 있음
  - 그러나 실제로는 심각한 갈수가 어느 해에 발생하였는지의 여부, 세 가지 갈수량 중 어느 값을 채택할 것인지의 여부, 30년 이상의 일유량 자료를 확보해야만 한다는 여러 가지 문제가 있어 적용하기 어려움
  - 실제로 소양강댐 지점에서는 10년 중 1위 갈수량보다 30년 중 3위 갈수량이 더 크게 나타났지만 대청댐 지점에서는 10년 중 1위 갈수량이 30년 중 3위 갈수량보다 크게 나타나는 등 일관성 있는 기준으로 적용하기 어려움

□ 분위수의 최소값 적용방안

- 이러한 문제점을 해소하기 위해 매년의 최소유량, 10분위수 중 최소유량, 20분위수 중 최소유량을 갈수관리 기준유량으로 적용하는 방안을 검토
  - 30년간의 일유량을 동일 일자별로 정렬한 후, 매일의 최소유량과 해당 분위별 유량을 산정하고, 이들이 각각 자연갈수량, 10년 빈도 갈수량, 10년 빈도 7일 갈수량을 만족하는지의 여부를 검토
  - 최소유량은 자연갈수량, 10년 빈도 갈수량, 10년 빈도 7일 갈수량 중에서 가장 크기가 작은 10년 빈도 7일 갈수량도 연중 100%(즉, 매일 물부족 없이 확보할 수 있음을 의미) 만족시키지 못하는 것으로 나타났음
  - 10분위수 및 20분위수 중 최소유량은 4개 분석지점 모두 20분위수 중 최소유량을 적용하면 물부족 없이 물공급이 가능한 것으로 나타났음
  - 이처럼 20분위수 중 최소유량을 갈수관리 기준유량으로 설정하기 위해서는 기존의 10년 빈도 갈수량을 지점에 따라 1.1~4.3배 정도 증가시켜야 하는 것으로 나타났음
- 자연갈수량(355일), 동일 일자별 갈수량(355일), 10년 중 1위 갈수량, 10년 빈도 7일 갈수량 등은 분석지점 마다 크기순위가 다르게 나타나 일률적 기준에 의해 갈수량을 설정하기가 어려웠음
  - 즉, 모든 분석지점에 대해 동일한 기준으로 일관성 있게 갈수량을 설정하기 어렵다는 것을 알 수 있음
- 또한, 30년 간의 일유량 중, 연중 2.5%에 해당하는 Q_{355} 이하의 일유량을 관리했었다면 10년 빈도 갈수량보다 약 7.7~15.5배의 갈수관리효과를 거둘 수 있었을 것으로 나타났음

표 3-8 | 분석지점의 갈수관리 기준유량 설정방안 검토결과

구 분		검 토 항 목	단 위	한 강 (소양강댐)	낙동강 (안 동 댐)	금 강 (대 청 댐)	섬진강 (섬진강댐)
기존 갈수량 산정							
	기왕 최대	최근 10년 중 1위 갈수량		0.0100	0.0020	2.0340	0.0130
		최근 20년 중 2위 갈수량		0.0170	0.0020	0.3000	0.0140
		최근 30년 중 3위 갈수량		0.0220	0.0090	0.8000	0.0200
	자연갈수량	자연갈수량(355일)		2.0896	1.3431	8.6425	0.3985
	기준갈수량	10년 빈도 갈수량		0.3028	0.1992	3.0969	0.0404
		연중 보장확률(%)		98.0550	97.6800	98.0550	95.0590
	7일 갈수량	10년 빈도 7일 갈수량		0.0272	0.0091	0.7344	0.0274
최소유량의 적용가능성 검토							
	최 소 유 량	연중 최소유량	㎥/sec	0.010	0.001	0.100	0.013
		최소값 연평균	㎥/sec	4.059	1.589	5.406	0.400
	자연 갈수량	연중 만족일수	일/년	182	157	78	135
		일 평균 유량	㎥/sec	1.969	0.246	-3.237	0.001
		연중 보장확률	%	49.863	43.014	21.370	36.986
	기준 갈수량	연중 만족일수	일/년	294	285	244	361
		일 평균 유량	㎥/sec	3.756	1.390	2.309	0.359
		연중 보장확률	%	80.548	78.082	66.849	98.904
	7일 갈수량	연중 만족일수	일/년	361	361	363	362
		일 평균 유량	㎥/sec	4.032	1.580	4.671	0.372
		연중 보장확률	%	98.904	98.904	99.452	99.178
	갈 수 관 리 기 준 유 량	기 준 갈 수 량 (Q_{355})		0.069	0.028	1.000	0.058
		Q_{355} 이하 갈수량 누계		0.401	0.122	28.100	0.385
		갈 수 관 리 효 과		5.812	4.357	28.100	6.638
20분위수 중 최소유량의 적용가능성							
	최 소 유 량	연중 최소유량	㎥/sec	0.565	0.855	7.000	0.046
		최소값 연평균	㎥/sec	14.010	6.144	17.338	2.153
	자연 갈수량	연중 만족일수	일/년	333	347	359	339
		일 평균 유량	㎥/sec	11.920	4.801	8.696	1.755
		연중 보장확률	%	91.233	95.068	98.356	92.877
	기준 갈수량	연중 만족일수	일/년	365	365	365	365
		일 평균 유량	㎥/sec	13.707	5.945	14.242	2.113
		연중 보장확률	%	100.000	100.000	100.000	100.000
	7일 갈수량	연중 만족일수	일/년	361	361	363	362
		일 평균 유량	㎥/sec	13.983	6.135	16.604	2.126
		연중 보장확률	%	100.000	100.000	100.000	100.000
	갈 수 관 리 기 준 유 량	기 준 갈 수 량 (Q_{355})		1.460	0.966	9.600	0.100
		Q_{355} 이하 갈수량 누계		11.351	9.172	84.007	1.551
		갈 수 관 리 효 과		7.775	9.493	8.751	15.506

주 : 연평균 보장확률(%)이란 연중 자연갈수량, 기준갈수량, 7일 갈수량 이상을 매일 확보할 수 있는 확률을 의미
자료 : 저자 작성

4) 평수특성 분석 및 평수관리 기준유량 설정방안

(1) 최빈유량과 산술평균유량의 비교

□ 분석개요

- 홍수기와 갈수기를 제외한 평상시의 하천유량을 관리하기 위한 적절한 기준유량을 설정하기 위해 일별 최빈값의 특성을 고찰
- 30년간의 일유량을 동일 일자별로 정렬한 후, 보간법에 의해 일별 최빈유량을 산정하고, 이를 평균하여 일별 최빈유량을 산정

□ 분석결과

- 일별 최빈유량이 일별 산술평균유량보다 크거나 작게 나타나 두 유량 간의 일관성 있는 결론을 도출하기는 어려웠는데 이는 일별 산술평균유량은 일별 최대유량이나 최소유량의 영향을 크게 받기 때문으로 사료됨
- 따라서, 일별 최빈유량을 적용하는 것이 일별 유량특성을 보다 안정적으로 나타낼 수 있는 것으로 나타났음

표 3-9 | 분석지점의 일별 최빈유량과 산술평균유량의 비교

구 분	단 위	한 강(소양강댐)	낙동강(안 동 댐)	금 강(대 청 댐)	섬진강(섬진강댐)
최빈유량 평균	㎥/sec	26.269	43.514	103.346	26.269
산술평균 유량	㎥/sec	69.667	31.014	77.368	17.500

자료 : 저자 작성

(2) 일유량의 크기 비교

□ 분석개요

- 산술평균 일유량은 최대유량이나 최소유량의 영향을 크게 받기 때문에 분석결과를 왜곡할 수 있으므로 일유량의 특성을 대표할 수 있는 적절한 대표값을 검토
- 연중 일유량의 특성을 대표할 수 있는 지표를 선정하기 위해 최대유량, 최빈유량, 산술평균, 20% 절사평균, 최소유량, 자연갈수량, 10년 빈도 갈수량, 10년 빈도 7일 갈수량 등의 크기를 비교하고, 크기 간의 관계식을 도출
- 비교를 위해, 30년간의 일별 유량을 매년의 동일 일자별로 정리한 후, 일자별 유량값들을 평균하여 일평균 유량값을 산정한 후, 내림차순하여 분석하였음

□ 분석결과

- 4개 분석지점 모두 최대유량 > 90분위 유량 > 최빈유량 > 80분위 유량 > 산술평균 > 75분위 유량 > 70분위 유량 > 20% 절사평균 유량 > 60분위 유량 > 50분위 유량(중앙값) > 40분위 유량 > 30분위 유량 > 25분위 유량 순으로 나타남
- 또한, 이들 간에는 상관계수가 0.81(소양강댐)~0.92(대청댐)인 지수함수적 관계가 성립됨을 알 수 있었음

표 3-10 | 분석지점의 일유량별 크기 비교

(단위 : ㎥/sec)

구 분	유량의 명칭	한강(소양강댐)		낙동강(안동댐)		금강(대청댐)		섬진강(섬진강댐)	
		유량값	내림순위	유량값	내림순위	유량값	내림순위	유량값	내림순위
일평균유량	최대유량	536.496	1	256.027	1	587.637	1	157.069	1
	90분위	148.319	2	64.070	2	162.098	2	40.121	2
	최빈유량	91.027	3	43.514	3	103.346	3	26.269	3
	80분위	85.327	4	36.854	4	93.461	4	20.393	4
	산술평균	69.667	5	31.014	5	77.368	5	17.500	5
	75분위	68.274	6	30.055	6	76.822	6	15.745	6
	70분위	56.626	7	25.143	7	64.305	7	12.807	7
	20%절사평균	43.634	8	19.400	8	49.578	8	9.776	8
	60분위	40.901	9	18.940	9	47.102	9	8.531	9
	50분위(중앙값)	30.780	10	14.555	10	35.767	10	6.115	10
	40분위	23.820	11	11.111	11	28.282	11	4.514	11
	30분위	18.272	12	8.359	12	22.325	12	3.168	12
	25분위	16.081	13	7.225	13	19.785	13	2.663	13
	20분위	14.010	14	6.144	14	17.338	16	2.153	16
	10분위	9.310	15	3.965	16	12.356	17	1.105	17
	최소유량	4.059	18	1.589	18	5.406	19	0.400	18
자연갈수량	기존 유황분석	1.811	19	1.074	19	8.642	18	0.252	19
	동일 일자별	6.217	16	4.264	15	18.027	15	2.584	14
	5일 평균 최빈유량	4.463	17	3.860	17	19.274	14	2.552	15
	10년 1위 갈수량	0.010	22	0.002	22	2.034	21	0.013	22
10년 빈도 갈수량		0.303	20	0.199	20	3.097	20	0.040	20
10년 빈도 7일 갈수량		0.027	21	0.009	21	0.734	22	0.027	21

자료 : 저자 작성

5) 하천수 사용허가 기준유량의 적절성 검토

(1) 분석개요

- 하천관리 기준유량으로 사용되고 있는 기왕 최대갈수량(10년 중 1위 갈수량), 자연갈수량, 10년 빈도 갈수량의 보장확률을 검토하여 하천수 사용허가 기준으로서의 적정성을 검토
- 이를 위해, 현재 하천수 사용허가 기준유량인 10년 빈도 갈수량의 크기, 보장확률, 새로운 기준유량의 산정방법 등을 검토
- 또한, 연중 물부족이 발생하지 않도록 하기 위한 새로운 기준유량을 도출
  - 이를 위해, 30년간의 일유량 자료를 이용하여 자연갈수량, 10년 빈도 갈수량, 10년 중 1위 갈수량 등의 보장확률을 검토
  - 또한, 연중 물부족이 발생하지 않도록 하기 위한 하천수 사용허가의 새로운 기준유량으로서 10분위수 및 20분위수 중 최소유량의 적용성도 검토

(2) 분석결과

- 현재의 하천수 사용허가 기준유량으로 사용되고 있는 10년 빈도 갈수량의 연평균 보장확률은 95.1%(섬진강댐)에서 98.6%(대청댐)로 나타났음
  - 자연갈수량의 보장확률은 91.2%(섬진강댐)~94.0%(안동댐), 10년 중 1위 갈수량은 95.1%(섬진강댐)~98.9%(소양강댐, 대청댐) 등 연중 100%에 못 미치는 것으로 나타났음
- 대안으로 검토한 20분위수 중 최소유량은 4개 분석지점 모두에서 연중 물부족이 발생하지 않는 것으로 나타나 하천수 사용허가를 위한 새로운 기준유량으로 적용할 수 있을 것으로 사료됨
  - 20분위수 중 최소유량을 하천수 사용허가 기준유량으로 적용하기 위해서는 기존의 10년 빈도 갈수량보다 약 1.15배(섬진강댐)~4.29배(안동댐) 정도 큰 유량을 확보해야 하는 것으로 나타났음

표 3-11 | 분석지점의 하천수 사용허가 기준유량 설정방안 검토결과

구 분	검 토 항 목	단 위	한 강 (소양강댐)	낙동강 (안 동 댐)	금 강 (대 청 댐)	섬진강 (섬진강댐)
자연 갈수량	연 중 미 달 일 수	일/년	42.065	41.747	47.593	60.936
	일 평 균 유 량	㎥/sec	2.090	1.343	8.642	0.398
	연 중 보 장 확 률	%	93.954	94.000	93.160	91.242
10년 빈도 갈수량	연 중 미 달 일 수	일/년	13.534	16.140	10.040	34.376
	일 평 균 유 량	㎥/sec	0.303	0.199	3.097	0.040
	연 중 보 장 확 률	%	98.1	97.7	98.6	95.1
최근 10년 중 1위 갈수량	연 중 미 달 일 수	일/년	7.434	9.468	7.689	34.122
	일 평 균 유 량	㎥/sec	0.010	0.002	2.034	0.013
	연 중 보 장 확 률	%	98.9	98.6	98.9	95.1
20분위수 중 최소유량	연 중 미 달 일 수	일/년	0.000	0.000	0.000	0.000
	연 중 최소 일유량	㎥/sec	0.565	0.855	7.000	0.046
	연 중 보 장 확 률	%	100.000	100.000	100.000	100.000
10분위수 중 최소유량	연 중 미 달 일 수	일/년	5.000	13.000	1.000	46.000
	연 중 최소 일유량	㎥/sec	0.093	0.090	2.903	0.025
	연 중 보 장 확 률	%	98.6	96.4	99.7	87.4
검 토 결 과	추 천 안	-	20% 최소값	20% 최소값	20% 최소값	20%중 최소값
	20분위 최소유량/기준갈수량	㎥/sec	1.865	4.293	2.260	1.147

자료 : 저자 작성

3. 관리기간의 구분 및 관리기간별 기준유량 설정방안

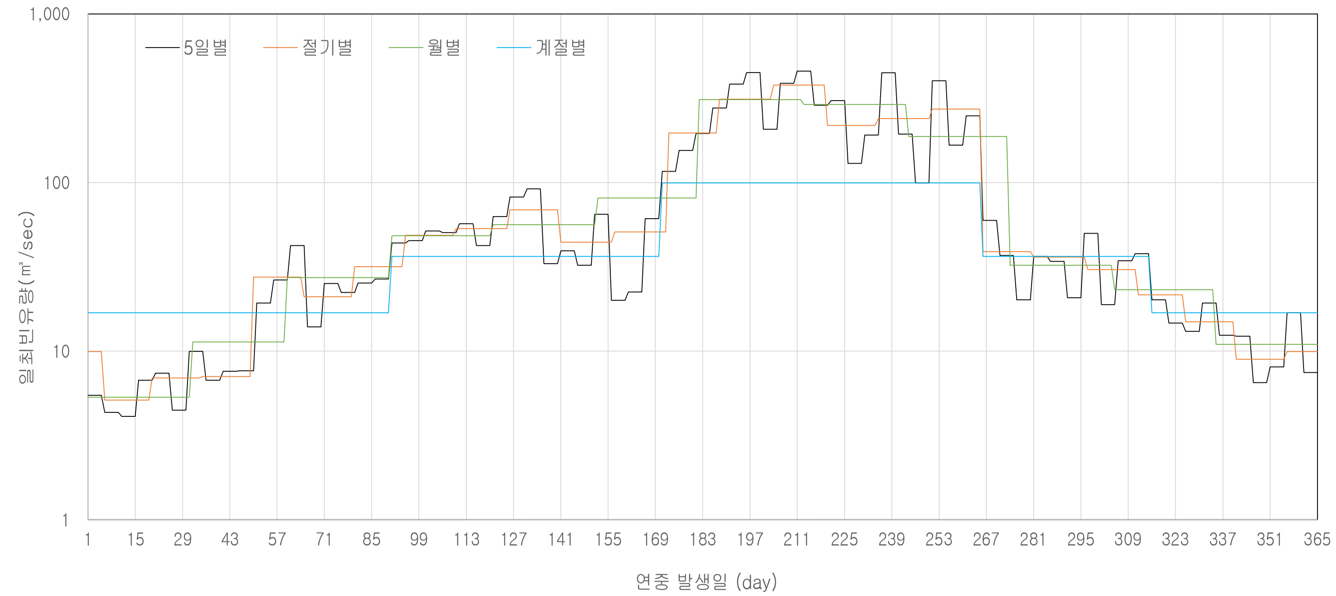
1) 분석개요

- 하천관리자가 관리해야 할 기준유량을 관리목적과 관리기간에 따라 선택적으로 참고할 수 있도록 연중 일별 최빈유량을 기준으로 관리기간별(5일별, 24절기별, 월별, 계절별) 일평균 최빈유량을 제시
- 연중 관리기간의 구분 및 관리기간별 기준유량의 범위를 설정하기 위해 최빈유량을 5일별, 24절기별, 월별, 계절별로 구분하여 기간별 평균유량을 산정

2) 분석결과

- 하천유량관리자는 관리목적에 따라 관리기간별로 필요한 기준유량을 선택적으로 참고할 수 있음
- 즉, 계절별 최빈 평균유량을 기준으로 관리하되, 월별, 24절기별, 5일별 최빈 평균 유량을 참고하여 탄력적으로 관리하는 방안을 고려할 수 있음

그림 3-2 | 분석지점의 관리기간별 기준유량(한강 소양강댐)



자료 : 저자 작성

4. 분석결과 및 시사점 종합

1) 통계적 특성분석

(1) 구분기간별 특성

□ 전기간 일유량의 특성

- 전기간의 일유량은 선형적으로 완만하게 감소하는 추세이고, 지속성을 가지며, 정규분포에 비해 뾰족하고, 왼쪽으로 왜곡됨
- 변동계수가 3 이상으로 표준편차가 커서 최대유량과 최소유량의 차이가 큼

□ 연단위 일유량의 특성

- 연단위 일유량은 지속성을 가지며, 정규분포에 비해 뾰족하고, 왼쪽으로 왜곡
- 변동계수는 전기간 분석보다 연단위 분석에서 낮아져 일유량의 연중 편차가 완화되는 것으로 나타났음

(2) 분위수별 특성

- 백분위수 분석에서는 90분위수 이상의 유량이 전체 유량합의 약 50% 정도를 차지하고 있어 큰 유량값에 의해 전체 자료계열이 왜곡되고 있으며, 중앙값인 50분위수는 전체 유량합의 3.0~4.1% 정도를 차지
- IQR을 이용한 사분위수 분석에서는 정상 하한값이나 이상 하한값이 음수로 표현되어 물리적 의미를 갖지 못하는 경우가 발생되거나 정상 상한값이나 이상 상한값이 일최대유량을 초과하는 경우가 발생하는 등 기준으로 적용하기 곤란
- 분위수별 누계유량은 90분위수에서 10분위수로 갈수록 누계곡선의 경사가 완만해지며, 누계유량의 경사 급변지점을 기준으로 관리기간을 구분할 수 있음

2) 하천관리 목적별 특성분석

(1) 유황분석

- 자연상태에서의 하상계수는 수천에서 수만에 이르며, 유황계수는 이보다 안정적이지만 수십에서 수천 정도로 나타나 어느 지점의 연중 평균적 유황을 대표

하는 계수로 사용하기에는 문제가 있음

- 영유량 발생일이 연중 10일 이상인 경우가 발생되어 연중 355일에 해당하는 유량인 자연갈수량이 영으로 산정되는 문제가 발생되는 등 대안 마련이 필요

(2) 홍수특성 분석 및 홍수조절 기준유량 설정방안

- 연중 홍수조절이 필요한 기준유량을 설정하기 위해 30년간의 동일 일자별 일최대유량 자료를 이용하여 일자별 최대유량 365개를 도출하고, 이 중 이상치로 판단할 수 있는 상위 2.5%(10위/365위)에 해당하는 유량을 선정
- 이 유량을 홍수조절 기준유량(Q_{10})으로 설정하여 지난 30년 간의 일최대유량 중 그 이상되는 유량을 조절했다면 홍수조절 기준유량 대비 약 11배 정도의 홍수조절 효과를 거둘 수 있었을 것으로 나타났음
- Grubbs & Beck 검정기준치의 상한값을 홍수조절 기준유량으로 적용하는 방안을 검토하였으나 실제로 적용하기에는 문제가 있는 것으로 나타났음
  - 검정기준치의 상한값이 일최대유량을 초과하거나 검정기준치의 하한값이 음수로 나타나 물리적 의미를 갖지 못하는 경우도 발생

(3) 갈수특성 분석 및 갈수관리 기준유량 설정방안

- 기존의 갈수량 산정기준이 되는 유량들의 크기는 자연갈수량 > 10년 빈도 갈수량 > 10년 빈도 7일 갈수량 순으로 나타났음
- 기왕 최대갈수량을 최근 10년 중 1위, 20년 중 2위, 30년 중 3위를 기준으로 설정하는 방법은 일관성 있는 기준유량으로 적용하기 곤란
  - 가장 심각한 갈수가 어느 해에 발생하였는가의 여부, 세 가지 갈수량 중 어느 값을 채택할 것인지의 여부, 30년 이상의 일유량 자료를 확보해야 하는 등의 문제가 발생
- 이러한 문제점을 해소하기 위한 대안으로 다음 두 가지 방안을 검토
  - 매년의 최소유량을 갈수관리 기준유량으로 적용하는 방안은 연중 100% 보장확률(매일 물부족 없이 취수 가능)을 만족하지 못하였음
  - 10분위수 및 20분위수 최소유량을 갈수관리 기준유량으로 적용하는 방안은 20분위수 최소유량을 적용하면 연중 물부족 없이 안정적으로 공급 가능한 것으로 나타났음

- 기존 자연갈수량(355일), 동일 일자별 갈수량(355일), 10년 중 1위 갈수량, 10년 빈도 7일 갈수량 등은 분석지점 마다 크기순위가 다르게 나타나 일률적 기준에 의해 갈수량을 설정하기 어려운 것으로 나타났음

(4) 평수특성분석 및 평수관리 기준유량 설정방안

- 산술평균 일유량은 최대유량이나 최소유량의 영향을 크게 받기 때문에 일유량의 대표값으로 사용하기 곤란하므로 적절한 대안 마련이 필요
- 대안으로는 일별 최빈유량을 적용하는 것이 일별 유량특성을 보다 안정적으로 나타낼 수 있는 것으로 나타났음
- 4개 분석지점 모두에서 다음과 같은 크기관계가 성립되었으며, 이들 간에는 상관계수가 0.81~0.92인 지수함수적 관계가 성립되었음
  - 최대유량 > 90분위 유량 > 최빈유량 > 80분위 유량 > 산술평균 > 75분위 유량 > 70분위 유량 > 20% 절사평균 유량 > 60분위 유량 > 50분위 유량(중앙값) > 40분위 유량 > 30분위 유량 > 25분위 유량

3) 하천수 사용허가 기준유량의 적절성

- 현재 하천수 사용허가 기준으로 사용되고 있는 10년 빈도 갈수량의 보장확률은 연평균 95.1%(섬진강댐)~98.6%(대청댐)로 연중 100%에 못 미치는 것으로 나타났음
- 대안으로 검토한 20분위수 중 최소유량은 4개 분석지점 모두에서 연중 물부족이 발생하지 않는 것으로 나타나 하천수 사용허가를 위한 새로운 기준유량으로 적용할 수 있을 것으로 사료됨
  - 20분위수 중 최소유량을 하천수 사용허가 기준유량으로 적용하기 위해서는 기존의 10년 빈도 갈수량보다 약 1.15배(섬진강댐)~4.29배(안동댐) 정도 큰 유량을 확보해야 하는 것으로 나타났음

4) 관리기간의 구분 및 관리기간별 기준유량 설정

- 연중 관리기간의 구분 및 관리기간별 기준유량의 범위를 설정하기 위해 최빈유량을 기준으로 5일별, 24절기별, 월별, 계절별로 구분하여 관리기간별 평

균유량을 산정

- 하천유량관리자는 관리목적에 따라 관리기간별로 필요한 기준유량을 선택적으로 참고할 수 있음
  - 즉, 계절별 최빈 평균유량을 기준으로 관리하되, 월별, 24절기별, 5일별 최빈평균 유량을 참고하여 탄력적으로 관리하는 방안을 고려할 수 있음

CHAPTER 4

분석결과의 적용 가능성 검토

CHAPTER 4

분석결과의 적용 가능성 검토

1. 검토 개요

1) 검토목적

- 제3장의 분석지점들은 인위적 유역개발이나 하천으로의 취수·방류가 적은 지점들이어서 그 분석결과가 하천으로의 유입·방류나 취수와 같은 현실적 물이용이 이루어지고 있는 지점에도 적용될 수 있는지에 대한 검토가 필요
- 검토를 통해 분석지점의 결과가 임의의 하천지점에서도 적용 가능한지의 여부와 적용을 위해 필요한 조건이 무엇인지 등을 고찰

2) 검토대상과 분석기간

- 본 장에서는 적용 가능성을 검토하기 위해 유량이 크고, 지천으로부터의 유입이나 취수와 같은 유량의 유출·입이 복잡하게 발생되며, 하천수 이용량이 많아 하천관리 상 중요한 5대강 본류 하류의 5개 지점을 적용지점으로 선정
  - 한강 한강대교, 낙동강 진동, 금강 금강교, 영산강 나주대교, 섬진강 송정
- 장기간의 일유량 자료를 확보할 수 있는 5개 적용지점의 1996년부터 2019년까지의 관측 일유량 자료를 이용하여 검토
  - 또한, 비교적 유량이 풍부한 본류 하류라는 점을 감안하여 정상적으로는 영유량이 발생할 수 없기 때문에 영유량 포함연도를 제외하고, 분석의 신뢰성을 확보하기 위해 결측일 포함년도도 제외하였음

3) 검토항목과 방법

- 제3장의 분석결과가 다른 지점에서도 적용될 수 있는지의 여부를 검토하는 것이 목적이므로 제3장의 분석항목과 분석방법을 동일하게 적용

2. 통계적 특성분석

1) 구분기간별 특성분석

(1) 전기간 일유량의 특성

- 전기간 일유량은 선형적으로 완만하게 감소하는 추세이고, 지속성을 가지며, 정규분포에 비해 뾰족하고, 왼쪽으로 왜곡됨
- 5개 적용지점의 변동계수는 1.677~3.083 정도로 나타나 본류 상류의 4개 분석지점(2.933~ 3.394)에 비해 일유량의 편차가 완화되는 것으로 나타났음

(2) 연단위 일유량의 특성

- 전기간의 일유량을 연단위로 구분하여 통계적 특성을 고찰한 결과, 일유량은 여전히 지속성을 가지며, 정규분포에 비해 뾰족하고, 왼쪽으로 왜곡됨
- 섬진강 송정 지점의 변동계수는 전기간 분석에서는 3.083이었으나 연단위 분석에서는 2.639로 낮아진 것으로 나타났음

표 4-1 | 적용지점의 전기간 일유량 통계특성

구 분		한강(한강대교)	낙동강(진동)	금강(금강교)	영산강(나주대교)	섬진강(송정)
분석개요	자 료 기 간	1996~2019	2002~2019	1998~2018	1997~2019	1997~2019
	자 료 수	5,475	6,570	5,475	4,745	7,665
	분 석 연 수	15	18	15	13	21
변동경향	경 향 식	y=-0.063x+669.45	y=-0.078x+666.02	y=-0.0103x+155.45	y=-0.0053x+78.072	y=-0.0057x+101.84
	판 단 결 과	완만한 감소	완만한 감소	완만한 감소	완만한 감소	완만한 감소
기본분석	일평균 유량	497.483	409.714	127.295	65.409	79.944
	표 준 편 차	910.612	816.980	213.537	163.044	246.461
지 속 성	판 단 계 수	0.814	0.874	0.799	0.629	0.683
	판 단 결 과	지속성 있음	지속성 있음	지속성 있음	지속성 있음	지속성 있음
왜 곡 도	왜곡도 계수	7.743	6.519	6.316	9.036	8.571
	판 단 결 과	왼쪽으로 왜곡	왼쪽으로 왜곡	왼쪽으로 왜곡	왼쪽으로 왜곡	왼쪽으로 왜곡
변 동 성	변 동 계 수	1.830	1.994	1.677	2.493	3.083

자료 : 저자 작성

표 4-2 | 적용지점의 연단위 일유량 통계특성

구 분		한강(한강대교)	낙동강(진동)	금 강(금강교)	영산강(나주대교)	섬진강(송정)
지속성	판 단 계 수	0.777	0.826	0.760	0.629	0.665
	판 단 결 과	지속성 있음	지속성 있음	지속성 있음	지속성 있음	지속성 있음
왜곡도	왜곡도 계수	5.831	5.339	5.149	9.036	7.184
	판 단 결 과	왼쪽으로 왜곡	왼쪽으로 왜곡	왼쪽으로 왜곡	왼쪽으로 왜곡	왼쪽으로 왜곡
변동성	변 동 계 수	1.601	1.695	1.471	2.493	2.639

자료 : 저자 작성

2) 분위수별 특성분석

(1) 백분위수

- 5개 적용지점에 대해 백분위수를 산정한 결과, 90분위수 이상에 해당하는 유량이 전체의 39%(금강대교)~45%(송정) 정도를 차지하는 것으로 나타나 큰 유량값에 의해 자료계열이 크게 왜곡되어 있다는 것을 확인 할 수 있음
- 중앙값인 50분위수는 전체 유량합의 4.0~8.5% 정도를 차지하는 것으로 나타났음

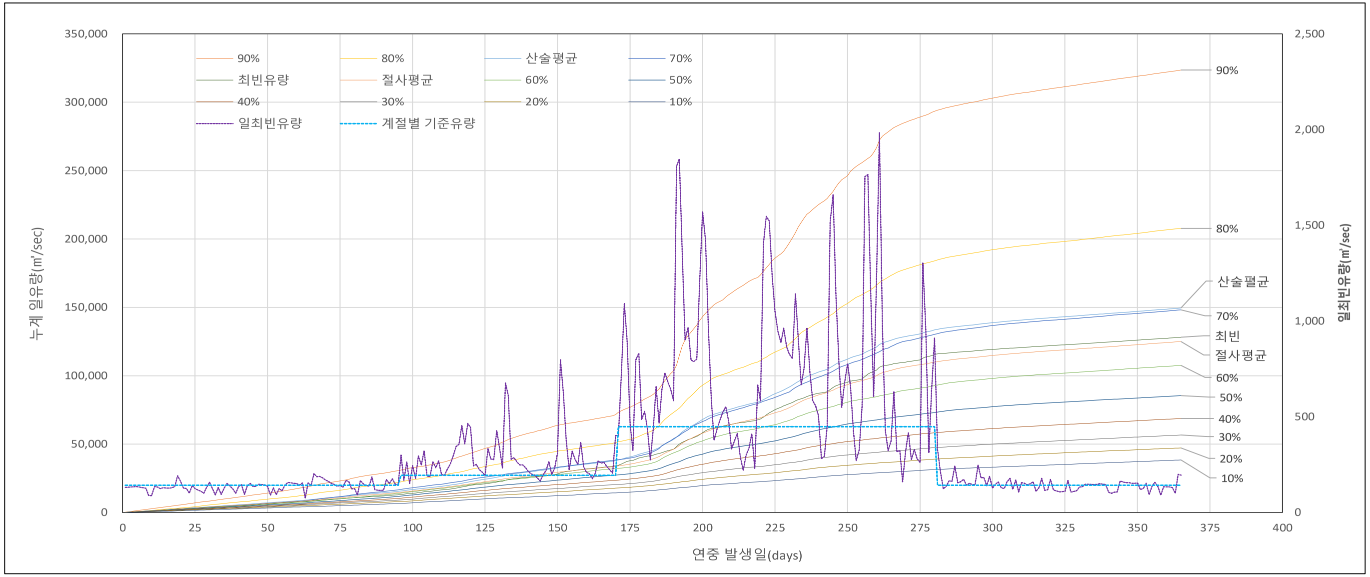
(2) 사분위수

- 사분위법의 $IQR=(Q3-Q1)$을 이용하여 사분위의 적용 가능성을 검토한 결과, 정상 하한값이나 이상 하한값이 음수로 표현되어 물리적 의미를 갖지 못하는 경우가 발생
- 또한, 정상 상한값이나 이상 상한값이 일최대유량을 초과하는 경우가 발생하는 등 평수관리 기준유량으로 적용하는데 문제가 있음

(3) 분위수별 누계유량

- 90분위수에서 10분위수로 갈수록 누계유량 간의 격차가 줄어들고 누계곡선의 경사도 완만해지는 양상을 나타냈음
- 분위수별 누계유량의 경사 급변지점을 기준으로 관리기간을 구분할 수 있음
- 분위수별 누계유량의 크기는 그 순위는 다르지만 산술평균 > 최빈값 > 20% 절사평균인 관계가 성립하는 것으로 나타났음

그림 4-1 | 적용지점의 분위수별 누계유량(한강 한강대교)



자료 : 저자 작성

표 4-3 | 적용지점의 분위수별 누계유량

(단위 : ㎥/년, %)

구 분	한강(한강대교)		낙동강(진동)		금강(금강교)		영산강(나주대교)		섬진강(송정)	
	누계 유량	구성비	누계 유량	구성비	누계 유량	구성비	누계 유량	구성비	누계 유량	구성비
10분위	84,389.1	3.098	58,112.1	2.159	24,363.4	3.496	11,001.1	3.545	13,940.7	2.275
20분위	59,004.8	2.166	85,654.2	3.182	16,519.2	2.370	6,821.8	2.198	13,172.3	2.150
30분위	147,873.1	5.429	106,316.6	3.950	39,240.3	5.630	7,841.7	2.527	16,308.3	2.661
40분위	91,980.0	3.377	62,253.1	2.313	24,022.1	3.447	8,878.5	2.861	20,184.5	3.294
50분위	225,067.9	8.263	149,640.8	5.559	59,313.8	8.511	22,054.4	7.106	24,487.7	3.996
60분위	136,850.1	5.024	195,401.4	7.259	37,184.3	5.335	13,608.5	4.385	30,774.4	5.022
70분위	161,181.9	5.918	122,786.3	4.561	42,943.3	6.162	16,686.8	5.377	40,986.7	6.689
80분위	409,532.3	15.036	331,914.1	12.330	109,132.4	15.659	22,243.0	7.167	61,535.8	10.042
90분위	285,529.0	10.483	520,219.7	19.326	70,591.3	10.129	33,102.4	10.666	111,457.7	18.189
90이상	1,122,311.3	41.205	1,059,523.0	39.361	273,631.8	39.262	168,126.6	54.171	279,922.6	45.681
계	2,723,719.5	100.0	2,691,821.2	100.0	696,941.9	100.0	310,364.7	100.0	612,770.6	100.0

자료 : 저자 작성

3. 하천관리 목적별 특성분석

1) 유황분석

- 5개 적용지점의 하상계수는 최대 744.9(진동)에서 100.9(금강교)에 이르지만 유황계수는 이보다 안정적인 수치(금강교 23.0, 송정 64.5)를 보임
- 댐 상류에 위치한 분석지점과 비교해 보면 하상계수는 수만 단위에서 수백 단위로, 유황계수는 수백 단위에서 수십 단위로 안정된 값을 나타냈음

표 4-4 | 연단위 일유량의 특성(5대 강 본류 하류 지점)

구 분	분석항목	단 위	한 강 (한강대교)	낙동강 (진동)	금 강 (금강교)	영산강 (나주대교)	섬진강 (송정)
갈수량 관련	연중 영유량 일수	일/년	0	0	0	0	0
	일평균 최소유량	㎥/sec	68.187	78.593	27.563	10.704	8.963
기존 유황분석	갈수량(355일)	㎥/sec	96.471	95.809	36.559	12.804	11.292
	저수량(275일)	㎥/sec	181.285	142.599	50.093	17.241	17.091
	평수량(185일)	㎥/sec	278.433	196.618	67.836	25.304	26.257
	풍수량(95일)	㎥/sec	471.309	350.087	114.665	43.966	45.202
	홍수량(10일)	㎥/sec	2,518.035	2,369.430	668.969	433.767	613.603
하상계수(자료기간 평균)		-	203.015	744.876	100.959	158.220	436.987
유황계수(자료기간 평균)		-	29.867	33.611	23.042	36.223	64.526
연평균 일유량(기간 평균)		㎥/sec	497.483	409.714	127.295	65.409	79.944

주 : 본류 하구이므로 정상적으로는 영유량이 발생할 수 없기 때문에 영유량이 있는 자료는 결측치로 간주하여 제외하였음

자료 : 저자 작성

2) 홍수특성 분석 및 홍수조절 기준유량 설정방안

(1) 홍수량(Q_{10}) 적용방안

- 자료기간 동안의 일최대유량(㎥/sec)은 한강대교(16,220), 진동(11,997), 송정(4,688), 나주대교(4,232), 금강교(4,152) 순
- 일평균유량(㎥/sec)은 한강대교(1,916), 진동(1,827), 송정(503), 금강교(478), 나주대교(325) 순
- 홍수조절 기준유량(Q_{10}, ㎥/sec)은 한강대교(1,542), 진동(1,327), 금강교(400), 송정(377), 나주대교(243) 순
- 자료기간 중 Q_{10} 이상에 해당하는 유량의 합(㎥/sec)은 한강대교(18,865), 진동(15,636), 금강교(4,623), 송정(4,162), 나주대교(3,233) 순
- 자료기간 동안의 일유량 중 Q_{10} 이상의 일유량을 조절했다면 홍수조절 기준유량 대비 약 11~13배 정도의 홍수조절 효과를 거둘 수 있었을 것으로 나타났음

표 4-5 | 적용지점의 일유량 특성 및 홍수조절 효과

구 분	단 위	한 강 (한강대교)	낙동강 (진 동)	금 강 (금강교)	영산강 (나주대교)	섬진강 (송정)
일 최대유량	㎥/sec	16,220.1	11,996.9	4,151.9	4,232.4	4,687.8
일 평균유량	㎥/sec	1,915.7	1,827.4	475.5	324.9	503.1
홍수조절 기준유량						
기준홍수량(Q_{10})	㎥/sec	1,542	1,327	400	243	377
Q_{10} 이상 유량의 누계	㎥/sec/년	18,865	15,636	4,623	3,233	4,162
홍 수 조 절 효 과	-	12.2	11.8	11.6	13.3	11.0

자료 : 저자 작성

(2) 이상치 검정기준 적용방안

- 검정기준치의 하한값이 음수로 나타나 물리적 의미를 갖지 못하거나 검정기준치의 상한값이 일최대유량을 초과하는 것으로 나타나 홍수조절 기준유량으로 적용하기에는 문제가 있는 것으로 나타났음

표 4-6 | 적용지점의 Grubbs & Beck 검정기준치 산정결과

구 분	단 위	한 강 (한강대교)	낙동강 (진 동)	금 강 (금강교)	영산강 (나주대교)	섬진강 (송정)
검정상한값 〉 일최대유량	일/년	108	136	114	92	68
검정하한값 〈 영유량	일/년	350	360	311	298	329

자료 : 저자 작성

3) 갈수특성 분석 및 갈수관리 기준유량 설정방안

(1) 기존 갈수량의 크기 비교

- 갈수량 산정기준이 되는 유량들의 크기를 비교해 본 결과, 자연갈수량 > 10년 빈도 갈수량 > 10년 빈도 7일 갈수량 순으로 나타났음
- 기왕 최대갈수량은 자료기간이 짧아 최근 10년 중 1위와 20년 중 2위(송정)에 대해서만 산정할 수 있었는데, 제3장에서 서술한 바와 같이 논리적 근거가 미흡하여 다른 갈수량과는 큰 차이를 보였음

표 4-7 | 적용지점의 갈수량 크기 비교

(단위 : ㎥/sec)

구 분	유량의 명칭	한 강 (한강대교)		낙동강 (진 동)		금 강 (금강교)		영산강 (나주대교)		섬진강 (송정)	
		유량값	순위	유량값	순위	유량값	순위	유량값	순위	유량값	순위
자연갈수량	기존 유황분석	96.471	3	95.809	3	36.559	3	12.804	3	11.292	3
	동일 일자별	182.420	2	133.206	1	55.228	2	18.972	1	19.094	2
	5일평균 최빈유량	190.587	1	113.091	2	57.600	1	18.380	2	20.720	1
	10년 1위 갈수량	17.590	6	1.490	6	7.940	6	6.070	6	4.970	5
10년 빈도 갈수량		57.305	4	29.909	4	16.844	4	8.961	4	6.054	4
10년 빈도 7일 갈수량		25.986	5	6.392	5	8.804	5	6.906	5	3.342	6

자료 : 저자 작성

(2) 분위수의 최소값 적용방안

- 10년 빈도 갈수량의 보장확률은 연평균 98.2%(송정)~99.7%(나주대교)로 나타나 매년의 최소유량, 10분위수 및 20분위수 중 최소유량을 갈수관리 기준유량으로 설정하는 방안을 검토
  - 최소유량은 자연갈수량, 10년 빈도 갈수량, 10년 빈도 7일 갈수량 모두를 연중 물부족 없이 공급을 보장하지 못하였음
- 그러나 송정 지점은 20분위수 중 최소유량을, 나머지 4개 지점은 10분위수 중 최소유량을 적용하면 연중 물부족 없이 공급 가능한 것으로 나타났음
  - 이러한 기준을 갈수관리 기준유량으로 적용하기 위해서는 기존의 10년 빈도 갈수량을 1.18~1.63배 정도 증가시켜야 하는 것으로 나타났음
- 또한, 10년 빈도 갈수량을 갈수관리 기준유량으로 보아 분석기간 동안의 일유량 중 그 이하의 일유량을 관리했었다면 10년 빈도 갈수량보다 약 8.8~13.8배의 갈수관리 효과를 거둘 수 있었을 것으로 나타났음

표 4-8 | 적용지점의 갈수관리 기준유량 설정방안 검토결과

구 분		검 토 항 목	단 위	한 강 (한강대교)	낙동강 (진 동)	금 강 (금강교)	영산강 (나주대교)	섬진강 (송정)
기존 갈수량 산정								
	기왕 최대	최근 10년 중 1위 갈수량		17.590	1.490	7.940	6.070	4.970
		최근 20년 중 2위 갈수량						3.040
		최근 30년 중 3위 갈수량						
	자연갈수량	자연갈수량(355일)		96.471	95.809	36.559	12.804	11.292
	기준갈수량	10년 빈도 갈수량		57.305	29.909	16.844	8.961	6.054
		연중 보장확률(%)		99.269	99.574	98.502	99.663	98.226
	7일 갈수량	10년 빈도 7일 갈수량		25.986	6.392	8.804	6.907	3.342
최소유량의 적용가능성								
	최 소 유 량	연중 최소유량	㎥/sec	16.780	1.490	7.940	6.07	0.830
		최소값 연평균	㎥/sec	99.768	66.739	27.688	13.695	10.465
	자연 갈수량	연중 만족일수	일/년	169	62	77	141	156
		일 평균 유량	㎥/sec	3.296	-29.070	-8.870	0.891	-0.828
		연중 보장확률	%	46.301	16.986	21.096	38.630	42.740
	기준 갈수량	연중 만족일수	일/년	328	338	283	349	291
		일 평균 유량	㎥/sec	42.463	36.830	10.844	4.734	4.411
		연중 보장확률	%	89.863	92.603	77.534	95.616	79.726
	7일 갈수량	연중 만족일수	일/년	362	361	363	361	360
		일 평균 유량	㎥/sec	73.781	60.347	18.884	6.789	7.123
		연중 보장확률	%	99.178	98.904	99.452	98.904	98.630
	갈 수 관 리 기 준 유 량	기 준 갈 수 량 (Q_{355})		37.610	13.580	10.150	8.400	4.240
		Q_{355} 이하 갈수량 누계		281.140	90.580	103.690	74.680	38.320
		갈 수 관 리 효 과		7.475	6.670	10.216	8.890	9.038
10분위수 중 최소유량 적용가능성*								
	최 소 유 량	연중 최소유량	㎥/sec	61.404	33.526	21.180	9.478	9.880
		최소값 연평균	㎥/sec	143.473	105.276	41.475	16.873	19.067
	자연 갈수량	연중 만족일수	일/년	309	167	224	244	348
		일 평균 유량	㎥/sec	47.002	9.467	4.917	4.069	7.775
		연중 보장확률	%	84.658	45.753	61.370	66.849	95.342
	기준 갈수량	연중 만족일수	일/년	365	365	365	365	365
		일 평균 유량	㎥/sec	86.169	75.367	24.631	7.911	13.014
		연중 보장확률	%	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
	7일 갈수량	연중 만족일수	일/년	365	365	365	365	365
		일 평균 유량	㎥/sec	117.487	98.885	32.671	9.966	15.726
		연중 보장확률	%	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
	갈 수 관 리 기 준 유 량	기 준 갈 수 량 (Q_{355})		78.246	54.886	24.586	10.496	10.820
		Q_{355} 이하 갈수량 누계		1,079.148	484.077	234.466	102.552	113.300
		갈 수 관 리 효 과		13.792	8.820	9.537	9.771	10.471

주 1. 연평균 보장확률(%)이란 연중 자연갈수량, 기준갈수량, 7일 갈수량 이상을 매일 확보할 수 있는 확률을 의미
2. * 섬진강 송정 지점은 20분위수의 최소값을 적용한 결과임

자료 : 저자 작성

4) 평수특성 분석 및 평수관리 기준유량 설정방안

(1) 최빈유량과 산술평균유량의 비교

- 최빈유량이 산술평균유량보다 크거나 작게 나타나 두 유량 간의 일관성 있는 결론을 도출하기는 어려웠는데 이는 제3장에서 서술한 바와 같이 일별 산술평균유량은 일별 최대유량이나 최소유량의 영향을 크게 받기 때문으로 사료됨
- 따라서, 일별 최빈유량을 적용하는 것이 일별 유량특성을 보다 안정적으로 나타낼 수 있는 것으로 나타났음

표 4-9 | 적용지점의 일별 최빈유량과 산술평균유량의 비교

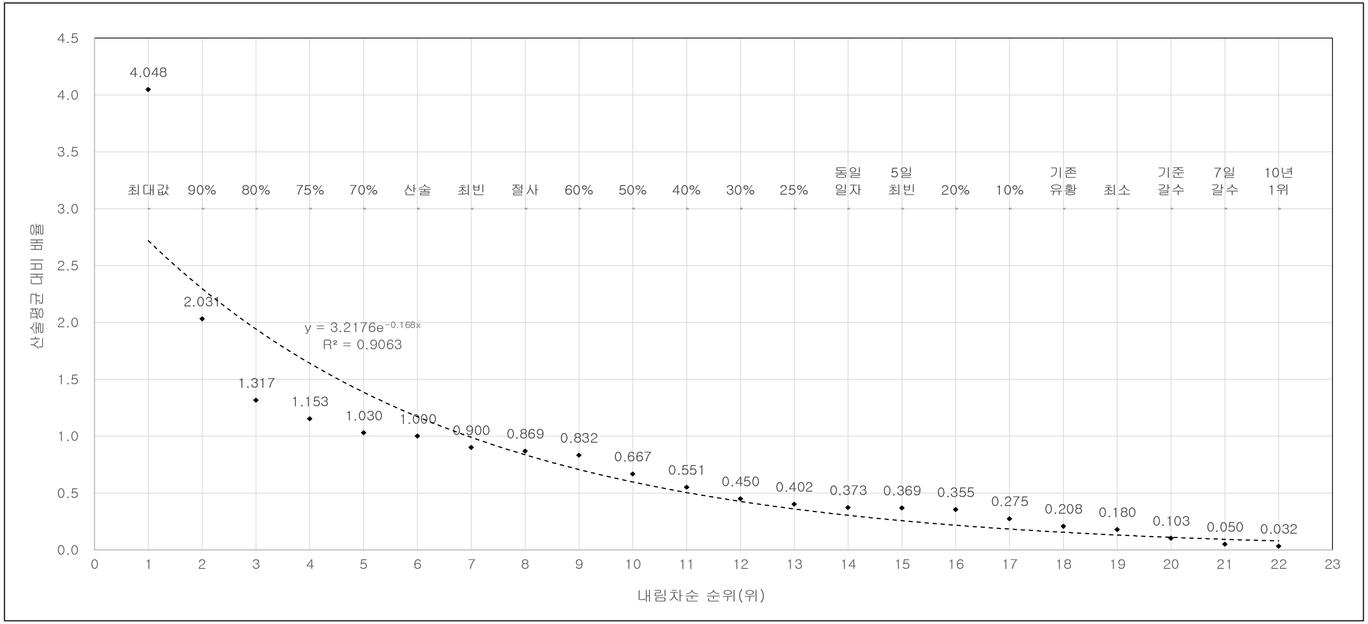
구 분	단 위	한 강 (한강대교)	낙동강 (진 동)	금 강 (금강교)	영산강 (나주대교)	섬진강 (송정)
최빈유량 평균	㎥/sec	432.151	351.117	114.216	62.838	91.962
산술평균 유량	㎥/sec	497.483	409.714	127.295	65.409	79.944

자료 : 저자 작성

(2) 일유량의 크기 비교

- 댐 상류에 위치한 4개 분석지점의 분석결과와는 달리 지표값들 간의 크기순위가 명확하게 구분되지는 않았음
- 또한, 기존 유황곡선 산정법에 의한 자연갈수량(355일), 동일 일자별 갈수량(355일), 최근 10년 중 1위 갈수량, 10년 빈도 7일 갈수량 등은 적용지점마다 크기순위가 다르게 나타나 일률적 기준에 의해 갈수량을 설정하기가 어려웠음
  - 즉, 모든 적용지점에 대해 동일한 기준으로 일관성 있게 갈수량을 설정하기 어렵다는 것을 알 수 있음
- 그러나 이들 간에는 상관계수가 0.79(진동)~0.95(송정)인 지수함수적 관계가 성립됨을 알 수 있었음
  - 제3장의 분석결과(0.81~0.92)를 고려할 때, 상관계수가 0.8~0.9 정도로 매우 상관성이 높다는 사실을 알 수 있음

그림 4-2 | 적용지점의 일유량별 크기 비교(한강 한강대교)



자료 : 저자 작성

표 4-10 | 적용지점의 일유량별 크기 비교

(단위 : ㎥/sec)

구 분	유량의 명칭	한 강 (한강대교)		낙동강 (진 동)		금 강 (금강교)		영산강 (나주대교)		섬진강 (송정)	
		유량값	순위	유량값	순위	유량값	순위	유량값	순위	유량값	순위
일평균유량	최대유량	1,915.753	1	1,827.401	1	475.488	1	324.898	1	503.132	1
	90분위	1,008.352	2	351.117	7	114.216	7	62.838	5	91.962	4
	최빈유량	432.151	7	886.334	2	241.873	2	126.736	2	180.203	2
	80분위	645.056	3	569.333	3	168.785	3	78.810	3	95.480	3
	산술평균	497.483	6	409.714	5	127.295	6	65.409	4	79.944	5
	75분위	561.246	4	475.137	4	149.496	4	60.842	6	72.978	6
	70분위	497.613	5	406.020	6	132.620	5	51.804	7	60.920	7
	20%절사평균	418.979	8	342.545	8	108.173	9	46.520	8	52.275	8
	60분위	401.403	9	294.515	9	108.186	8	38.933	9	44.674	9
	50분위(중앙값)	329.879	10	234.339	10	87.160	10	32.332	10	35.221	10
	40분위	272.847	11	188.191	11	71.531	11	27.426	11	29.059	11
	30분위	226.235	12	155.105	12	58.841	12	23.150	12	23.407	12
	25분위	202.566	13	141.765	13	53.804	15	21.360	13	21.135	13
	20분위	180.653	16	129.500	15	49.463	16	19.779	14	19.067	16
	10분위	143.473	17	105.276	17	41.475	17	16.873	17	15.037	17
	최소유량	99.768	18	66.739	19	27.688	19	13.695	18	10.465	19
자연갈수량	기존 유황분석	96.471	19	95.809	18	36.559	18	12.804	19	11.292	18
	동일 일자별	182.420	15	133.206	14	55.228	14	18.972	15	19.094	15
	5일 최빈유량	190.587	14	113.091	16	57.600	13	18.380	16	20.720	14
	10년 1위 갈수량	17.590	22	1.490	22	7.940	22	6.070	22	4.970	21
기준갈수량		57.304	20	29.909	20	16.844	20	8.961	20	6.054	20
7일 갈수량		25.986	21	6.392	21	8.804	21	6.906	21	3.342	22

자료 : 저자 작성

5) 하천수 사용허가 기준유량의 적절성 검토

- 하천수 사용허가 기준유량으로 사용되고 있는 10년 빈도 갈수량의 보장확률은 연평균 98.2%(송정)에서 99.7%(나주대교)로 나타났음
  - 자연갈수량의 보장확률은 83.1%(진동)~94.2%(한강대교), 10년 중 1위 갈수량은 송정(99.4%)과 한강대교(99.9%)를 제외하고는 모두 100%로 나타났음
- 4개 적용지점에서 10분위수 중 최소유량을 적용하면 물부족이 발생하지 않는 것으로 나타나 10~20분위 중의 최소유량을 새로운 하천수 사용허가 기준유량으로 적용할 수 있을 것으로 사료됨
  - 송정 지점은 20분위수 중 최소유량 적용시 만족

• 이러한 기준을 하천수 사용허가 기준으로 적용하기 위해서는 기존의 10년 빈도 갈수량보다 약 1.19배(나주대교)~1.81배(송정) 정도 큰 유량을 확보해야 하는 것으로 나타났음

표 4-11 | 적용지점의 하천수 사용허가 기준유량 설정방안 검토결과

(단위 : ㎥/sec)

구 분	검 토 항 목	단 위	한 강 (한강대교)	낙동강 (진 동)	금 강 (금강교)	영산강 (나주대교)	섬진강 (송정)
자연 갈수량	연중 미 달 일 수	일/년	38.537	127.102	81.151	74.130	45.849
	일 평 균 유 량	㎥/sec	96.471	95.809	36.559	12.804	11.292
	연중 보 장 확 률	%	94.2	83.1	89.2	90.2	93.3
기준 갈수량	연중 미 달 일 수	일/년	4.863	2.878	9.969	2.215	12.108
	일 평 균 유 량	㎥/sec	57.304	29.909	16.844	8.961	6.054
	연중 보 장 확 률	%	99.2	99.6	98.5	99.7	98.2
최근 10년 중 1위 갈수량	연중 미 달 일 수	일/년	0.122	0.000	0.000	0.000	4.273
	일 평 균 유 량	㎥/sec	17.590	1.490	7.940	6.070	4.970
	연중 보 장 확 률	%	99.9	100.0	100.0	100.0	99.4
20분위 기준	연중 미 달 일 수	일/년	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	연중 최소 일유량	㎥/sec	79.318	52.352	26.704	10.672	9.880
	연중 보 장 확 률	%	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
10분위 기준	연중 미 달 일 수	일/년	0.000	0.000	0.000	0.000	8.000
	연중 최소 일유량	㎥/sec	61.404	33.526	21.180	9.478	4.790
	연중 보 장 확 률	%	100.0	100.0	100.0	100.0	97.8
검 토 결 과	추 천 안		10% 최소값	10% 최소값	10% 최소값	10% 최소값	20% 최소값
	20분위 최소/기준갈수량		1.384	1.750	1.585	1.191	1.632
	10분위 최소/기준갈수량		1.072	1.121	1.257	1.058	0.791

자료 : 저자 작성

4. 관리기간의 구분 및 관리기간별 기준유량 설정방안

• 하천유량관리자는 관리목적에 따라 관리기간별로 필요한 기준유량을 선택적으로 참고할 수 있음

• 즉, 계절별 최빈 평균유량을 기준으로 관리하되, 월별, 24절기별, 5일별 최빈 평균 유량을 참고하여 탄력적으로 관리하는 방안을 고려할 수 있음

5. 검토결과 및 시사점 종합

1) 통계적 특성분석

(1) 구분기간별 특성

□ 전기간 일유량의 특성

- 상류 4개 분석지점과 마찬가지로 하류 5개 적용지점에 대한 전기간의 일유량은 선형적으로 완만하게 감소하는 추세이고, 지속성을 가지며, 정규분포에 비해 뾰족하고, 왼쪽으로 왜곡됨
- 변동계수는 1.677~3.083로 나타나 본류 상류 4개 분석지점(2.933~3.394)에 비해 일유량의 편차가 완화되었으며, 이는 댐·보 등에 의한 유량조절에 의한 것으로 사료됨

□ 연단위 일유량의 특성

- 상류 4개 분석지점과 마찬가지로 하류 5개 적용지점에 대한 연단위 일유량은 지속성을 가지며, 정규분포에 비해 뾰족하고, 왼쪽으로 왜곡됨
- 변동계수는 전기간 분석(1.677~3.083)보다 연단위 분석(1.471~2.639)에서 낮아져 일유량의 연중 편차가 다소 완화된 것으로 나타났음

(2) 분위수별 특성

- 백분위수 분석에서는 90분위수 이상의 유량이 전체 유량합의 39~45% 정도를 차지하고 있어 큰 유량값에 의해 전체 자료계열이 왜곡되어 있으며, 중앙값인 50분위수는 전체 유량합의 4.0~8.5% 정도를 차지
- IQR을 이용한 사분위수 분석에서는 정상 하한값이나 이상 하한값이 음수로 표현되어 물리적 의미를 갖지 못하는 경우가 발생되거나 정상 상한값이나 이상 상한값이 일최대유량을 초과하는 경우가 발생하는 등 기준으로 적용하기 곤란
- 분위수별 누계유량은 90분위수에서 10분위수로 갈수록 누계곡선의 경사가 완만해지며, 누계유량의 경사 급변지점을 기준으로 관리기간을 구분할 수 있음

2) 하천관리 목적별 특성분석

(1) 유황분석

- 하상계수는 수백에 이르지만 유황계수는 수십 정도로 안정적이지만 여전히 어느 지점의 연중 평균적 유황을 대표하는 계수로 사용하기에는 문제가 있음
- 특히, 댐 상류와 같이 자연상태에 가까운 지점에서는 영유량 발생일이 연중 10일 이상인 지점도 있어 연중 355일에 해당하는 유량인 자연갈수량이 영으로 산정되는 문제가 발생

(2) 홍수특성 분석 및 홍수조절 기준유량 설정방안

- 분석기간 동안의 일유량 중, 이상치로 판단할 수 있는 상위 2.5%에 해당하는 유량을 홍수조절 기준유량(Q_{10})으로 설정하여 그 이상되는 유량을 조절했다면 홍수조절 기준유량 대비 약 11~13배 정도의 홍수조절 효과를 거둘 수 있었을 것으로 나타났음
- Grubbs & Beck 검정기준치의 상한값을 홍수조절 기준유량으로 적용하는 방안을 검토하였으나 실제로 적용하기에는 문제가 있는 것으로 나타났음
  - 검정기준치의 상한값이 일최대유량을 초과하거나 검정기준치의 하한값이 음수로 나타나 물리적 의미를 갖지 못하는 경우도 발생

(3) 갈수특성 분석 및 갈수관리 기준유량 설정방안

- 기존의 갈수량 산정기준이 되는 유량들의 크기는 자연갈수량 > 10년 빈도 갈수량 > 10년 빈도 7일 갈수량 순으로 나타났음
- 기왕 최대갈수량은 자료기간이 짧아 최근 10년 중 1위와 20년 중 2위(송정)에 대해서만 산정할 수 있었는데, 전술한 바와 같이 논리적 근거가 미흡하여 다른 갈수량과는 큰 차이를 보였음
  - 따라서, 가장 심각한 갈수가 어느 해에 발생하였는가의 여부, 세 가지 갈수량 중 어느 값을 채택할 것인지의 여부에 대한 결정기준이 필요함
  - 또한, 30년 이상이라는 장기간의 일유량 자료가 확보되지 않는 지점에 대한 효과적인 결정방법이 마련되어야 함

- 10년 빈도 갈수량의 보장확률은 연평균 98.2%~99.7%로 나타나 연중 물부족이 발생되지 않도록 하기 위한 새로운 갈수관리 기준유량 마련이 필요
  - 최소유량을 적용하는 방법은 자연갈수량, 기준갈수량, 7일 갈수량 모두를 연중 물부족 없이 공급을 보장하지 못하였음
  - 송정 지점(20분위수 최소값 적용)을 제외한 나머지 4개 지점에서는 10분위수 최소유량을 적용하면 연중 물부족 없이 공급 가능한 것으로 나타났음
- 또한, 10년 빈도 갈수량을 갈수관리 기준유량으로 보아 분석기간 동안의 일유량 중 그 이하의 일유량을 관리했었다면 10년 빈도 갈수량보다 약 8.8~13.8배의 갈수관리 효과를 거둘 수 있었을 것으로 나타났음

(4) 평상시의 하천 일유량 특성 분석

- 일별 최빈유량이 일별 산술평균유량보다 크거나 작게 나타나 두 유량 간의 일관성 있는 결론을 도출하기는 어려웠음
- 댐 상류 4개 분석지점의 분석결과와는 달리 5개 적용지점에 대한 지표값들 간의 크기순위가 명확하게 구분되지는 않았으나 지표들 간에는 상관계수가 0.79(진동)~0.95(송정)인 지수함수적 관계가 성립되었음
  - 따라서, 이들 관계에 대한 추가적인 연구가 이루어진다면 활용성 있는 적절한 지표를 선정할 수 있을 것으로 사료됨

3) 하천수 사용허가 기준유량의 적절성

- 하천수 사용허가 기준으로 사용되고 있는 10년 빈도 갈수량의 보장확률은 연평균 98.2%(송정)~99.7%(나주대교)로 나타났음
  - 분석결과를 감안할 때, 현재의 10년 빈도 갈수량의 보장확률은 약 95~99% 정도인 것으로 사료되며, 이는 10년 빈도 갈수량이라는 산정방법의 한계에 기인한 것으로 사료됨
- 대안으로 검토한 20분위수 중 최소유량은 4개 적용지점에서 연중 물부족이 발생하지 않는 것으로 나타나 10~20분위 중의 최소유량을 새로운 하천수 사용허가 기준유량으로 적용할 수 있을 것으로 사료됨
  - 이를 위해서는 기존의 10년 빈도 갈수량보다 약 1.19배(나주대교)~1.81배(송정) 정도 큰 유량을 확보해야 하는 것으로 나타났음

4) 관리기간의 구분 및 관리기간별 기준유량 설정방안

- 연중 관리기간의 구분 및 관리기간별 기준유량의 범위를 설정하기 위해 최빈 유량을 기준으로 5일별, 24절기별, 월별, 계절별(봄·여름·가을·겨울)로 구간 평균값을 산정했음
- 하천유량관리자는 관리목적에 따라 관리기간별로 필요한 기준유량을 선택적으로 참고할 수 있음
- 즉, 계절별 최빈 평균유량을 기준으로 관리하되, 월별, 24절기별, 5일별 최빈 평균 일유량을 참고하여 탄력적으로 관리하는 방안을 고려할 수 있음

CHAPTER 5

합리적 하천관리를 위한 기준유량 설정방안

CHAPTER 5

합리적 하천관리를 위한 기준유량 설정방안

1. 하천관리 기준유량의 개념 재정립 및 관련 용어 정리

1) 하천관리 기준유량의 개념 재정립

(1) 개선방향

- 현재로서는 하천관리 기준유량에 대한 법적 용어정의는 없으며, 하천의 유량을 관리하는 환경부 홍수통제소에서 운영 상 편의를 위하여 다음과 같이 정의하고 있음
  - 하천관리 기준유량이란 하천관리의 기준이 되는 유량으로서 하천수 사용허가 기준유량, 하천유지유량, 하천관리유량을 들 수 있음
- 그러나 이러한 규정은 다음과 같은 이유에서 그 개념을 재정립할 필요가 있음
- 첫째, 관리유량과 확보유량의 개념 명확화 필요
  - 하천관리 기준유량은 하천으로 유출·입 되는 양을 고려하여 홍수를 조절하고, 갈수를 관리하기 위한 기준이 되는 유량으로 보는 것이 바람직함
  - 그러나 현재의 하천관리 기준유량의 정의에는 하천관리자가 확보해야 하는 유량인 하천유지유량의 개념과 하천수 사용허가를 위한 유량의 개념도 포함되어 있어 이들 간의 구분이 필요
- 둘째, 용어 상호 간의 포함관계 고려 필요
  - 하천관리 기준유량으로 정의하고 있는 하천수 사용허가 기준유량, 하천유지유량, 하천관리유량 간의 관계를 명확히 구분할 필요가 있음
  - 이는 하천유량관리자의 업무상 필요한 유량들을 모두 하천관리 기준유량의 정의에 포함시켰기 때문이므로 하나의 기준유량을 정의하고, 이를 이용하여 다른 유량들을 산정하는 방식으로 개념을 재정립할 필요가 있음

(2) 개선방안

- 이상의 문제점들을 토대로 하천관리 기준유량의 개념을 재정립하기 위해 고려할 사항들은 다음과 같음
  - 첫째, 하천관리 기준유량이란 하천의 관리목적을 고려하여 정의되어야 함
  - 둘째, 하나의 기준유량을 정의하고, 이를 이용하여 다른 유량들을 산정하는 것이 바람직함
  - 셋째, 하천유량관리자가 적절한 관리기간과 관리기간별 기준유량에 따라 필요한 조치를 취하는 개념으로 재정립하는 것이 바람직함
- 따라서, 하천유량관리의 목적과 전술한 문제점들을 종합해 보면 하천관리 기준유량을 다음과 같이 새롭게 정의 할 수 있을 것임
  - 하천관리 기준유량이란 하천 임의점에서 연중 홍수를 조절하고, 갈수를 관리하며, 평상시의 하천이용 및 환경보전에 지장이 없도록 하기 위해 필요한 관리기간별 기준이 되는 유량의 범위를 말함
  - 하천관리 기준유량의 산정방법 등에 관해 본 연구에서는 일별 최빈유량을 이용하여 계절별 기간구분에 따라 기준유량의 관리범위를 설정하는 방안을 제시하였음
  - 구체적인 산정방법과 적용방법에 대해서는 지속적 논의를 거쳐 환경부 홍수통제소의 별도지침으로 정하는 것이 바람직
- 또한, 하천관리 기준유량은 하천유량관리자가 직관적으로 쉽게 인지하여 상황에 따라 탄력적으로 관리할 수 있도록 일기예보와 같이 30년 동안의 평균을 의미하는 "평년"이라는 개념을 도입할 필요가 있음
- 아울러 2005년 자료를 이용하여 산정된 지 20여년 가까이 경과된 기준갈수량 추정식도 그동안의 유역개발, 물수요 변화, 기후변화로 인한 일유량 변화 등을 종합적으로 고려하여 재산정할 필요가 있음

2) 하천유량 관련용어 정리

(1) 개선방향

- 제2장에서 고찰한 바와 같이 하천유량과 관련된 현재의 용어들은 유사·중복되는 용어들이 많아 혼돈의 우려가 있어 정리가 필요

- 예를 들면, 1년 중 275일은 이보다 저하되지 않는 수위일 때의 유량을 의미하는 저수량(低水量)은 댐에 의한 저수량(貯水量)과 혼돈의 우려가 있음
- 또한, 첨두유량, 첨두홍수량, 최대유량 등도 그 차이점을 직관적으로 명확하게 구분하기 쉽지 않은 용어들임
- 영문표기도 물용어집[1]에서조차 첨두유량을 peak discharge, peak flow, peak runoff 등 여러 표현을 병기하고 있으며, 설계홍수량과 계획홍수량은 모두 design flood discharge로 표시하고 있어 정리가 필요

• 따라서, 다음과 같은 기준을 정하여 혼돈스러운 하천유량관련 용어들을 정리할 필요가 있음[2]
  - 첫째, 관련 법령이나 규정에 의한 용어를 우선하여 정리
  - 둘째, 사용빈도수가 높은 용어를 중심으로 유사·중복되는 용어들을 정리
  - 셋째, 용어가 가지는 의미의 중요도가 높은 용어를 중심으로 정리
  - 넷째, 직관적 의미전달의 명확성이 높은 용어를 중심으로 정리
  - 다섯째, 하천관리의 목적별로 구분하여 정리하되 여러 목적에 사용되는 용어는 사용빈도수가 높은 분야를 중심으로 정리

(2) 개선방안

• 이러한 기준에 따라 제2장에서 고찰한 하천유량관련 용어들을 정리해 보면 다음과 같음

□ 유량 크기별

• 최대유량(Q_1)[3] : 평년[4]을 기준으로 연 중 최대 일유량
  - 동의어는 첨두유량, 첨두홍수량, 연최대홍수량 등이 있으나 분석기간의 설정에 따른 차이이므로 일최대유량, 월최대유량, 연최대유량 등으로 표현하는 것이 바람직

• 홍수유량(Q_{10}) : 평년을 기준으로 연중 10일 이상 유지되는 일유량

---
1) 한국물학술단체연합회, 2011. 물용어집. 대전:수자원공사연구원. 445
2) 용어들을 정리하는 것에 대해서는 관련 교수, 연구원, 업계, 공무원 등 여러 분야의 의견을 수렴해야 하므로 본 연구에서 제안하는 방법이나 표현은 이러한 논의를 위한 제안임
3) 첨두보다는 최대라는 표현이 빈도수도 높고, 의미전달의 명확성이 높은 것으로 판단하였으며, 유량은 학술용어로 사용되는 discharge를 선정
4) 최근 30년 동안의 일별 최빈유량

• 풍수유량(Q_{95}) : 평년을 기준으로 연중 95일 이상 유지되는 일유량

• 평수유량(Q_{185}) : 평년을 기준으로 연중 185일 이상 유지되는 일유량[5)]

• 저수유량(Q_{275}) : 평년을 기준으로 연중 275일 이상 유지되는 일유량[6)]

• 갈수유량(Q_{355}) : 평년을 기준으로 연중 355일 이상 유지되는 일유량

- 유사용어로는 기왕 최대갈수량, 10년 빈도 갈수량, 10년 빈도 7일 갈수량 등이 있음
- 기왕 최대갈수량은 최근 10년 중 1위 갈수량으로 한정하여 갈수유량과 비교하는 참고용으로만 사용하고, 기왕 최대갈수유량으로 표현
- 기준갈수량도 갈수유량(Q_{355})의 10년 빈도 갈수량이므로 기왕 최대갈수량이라는 표현을 없애고, 10년 빈도 갈수유량으로 명확하게 표현
- 10년 빈도 7일 갈수량은 평년을 기준으로 매년의 7일 연속유량 중에서 가장 작은 값을 그 해의 7일 갈수유량으로 하여 빈도분석한 10년 빈도 갈수유량으로 표현
- 평균갈수량은 연중 일 갈수유량의 산술평균을 의미하도록 일평균 갈수유량으로 명확하게 표현
- 자연갈수량이라는 표현은 갈수유량으로 일원화

• 최소유량(Q_{365}) : 평년을 기준으로 한 연중 최소 일유량, 동의어는 최대갈수량

□ 하천관리 목적별

• 하천유지유량 : 평년을 기준으로 연중 하천환경을 보전하기 위해 필요한 일유량[7)]

- 현행 하천법 제51조 제1항[8)]에 의한 "생활·공업·농업·환경개선·발전·주운 등의 하천수 사용을 고려하여 하천의 정상적 기능과 상태를 유지하기 위해 필요한 최소한의 유량" 이라는 규정에 대한 수정이 필요

• 하천관리 기준유량 : 하천 임의점에서 연중 홍수를 조절하고, 갈수를 관리하며, 평상시의 하천이용 및 환경보전에 지장이 없도록 하기 위해 필요한 관리기간별 기준이 되는 유량의 범위

5) 평균유량으로 사용하는 경우도 있으나 산술평균과 평수유량이 다르기 때문에 구분하여 사용해야 함
6) 저수량은 댐 등 저류구조물에 의한 저수량과 혼돈의 우려가 있으므로 저수유량으로 표현함이 바람직
7) 현재는 하천법에 "하천수 사용을 고려하여 하천의 정상적 기능과 상태를 유지하기 위해 필요한 최소한의 유량"으로 규정되어 있으나 하천유지유량 산정요령에 의하면 갈수유량(Q_{355})을 기준으로 산정하되 하천환경을 고려하여 결정하도록 규정
8) 하천법. 2009. 법률 제17453호(4월 1일 개정) 제51조.

- 현재는 하천관리 기준유량이란 하천관리의 기준이 되는 유량으로서 하천 유지유량, 하천수 사용허가 기준유량, 하천관리유량을 들 수 있다고 정의하고 있음
- 하천관리 기준유량의 새로운 정의를 토대로 현재 하천관리유량을 하천유지유량에 이수유량을 더한 유량으로 규정하고 있는 것을 하천관리 기준유량에 이수유량을 더한 유량으로 규정하는 방안에 대한 논의가 필요

• 만제유량 : 하천의 물이 제방을 넘기 시작할 때의 유량

• 설계홍수량 : 댐·보·하천 등 하천 내 수리구조물의 설계에 사용되는 홍수량, 동의어는 계획홍수량

• 환경·생태유량 : 수생태계의 건강성을 유지하기 위해 필요한 최소한의 유량, 법적 용어임

• 하천수 사용허가 기준유량 : 평년을 기준으로 연중 물부족 없이 하천으로부터 취수하기 위해 관리청의 허가를 받아야 하는 일유량으로 정의
- 현재는 매년의 갈수유량(Q_{355})을 빈도분석한 10년 빈도 갈수량을 의미하므로 10분위수 또는 20분위수 중 최소유량을 하천관리 기준유량으로 설정하는 방안에 대한 논의가 필요

2. 하천관리 목적별 개선방안

1) 유황분석 개선방안

(1) 개선방향

□ 기존 유황곡선 개념의 문제점 개선

• 현재의 유황곡선은 일유량이 무작위하게 발생한다는 가정 하에 매년의 일유량 자료를 내림차순하여 크기순위별로 산술평균한 값을 이용하고 있음

• 그러나 전기간 및 연단위로 구분하여 일유량의 지속성을 검토한 결과, 모두 지속성을 가지는 것으로 나타나 무작위하게 발생하지 않음을 알 수 있어 개선방안 마련이 필요

□ 유황분석 기준유량의 하천관리상 의미 검토

- 유황분석 기준유량인 갈수량(355일), 저수량(275일), 평수량(185일), 풍수량(95일), 홍수량(10일)이 하천관리상의 중요성과 부합하는지를 검토
- 검토결과, 저수량, 평수량, 풍수량은 하천관리상의 의미라기보다 사분위라는 통계적 개념에 근거한 것이고, 갈수량과 홍수량은 통계의 이상치 개념을 적용하여 각각 97.5% 및 2.5%를 적용한 것으로 사료됨

□ 지속기간을 고려할 수 있는 유황곡선 작성방법 제시

- 일유량의 지속성을 고려할 수 있도록 임의기간까지의 백분위수별 일유량과 누계 일유량을 산정하여 유황곡선의 이용 편의성과 효용성을 제고
- 일최빈유량과 누계 백분위수를 하나의 그래프에 나타냄으로써 누계 백분위수 그래프의 기울기 변화와 일최빈유량의 변화를 동시에 고려하여 “적정 관리기간”을 도출하는 방안을 제시

(2) 일 최빈유량법을 이용한 유황곡선 개선방안

□ 검토개요

- 기존 유황곡선법(일유량 내림차순), 일유량법(동일일자별 평균유량), 최빈유량법(일별 최빈유량) 등의 방법별 장단점을 비교하고, 각각의 산정결과를 하나의 그래프에 중첩하여 제시
- 최빈유량법은 일 최빈유량과 5일 평균 최빈유량을 하나의 그래프에 표시하는 방법임

표 5-1 | 유황곡선 작성방법별 비교

구 분	기존 유황곡선법	일유량법	최빈유량법
기 본 개 념	일유량의 무작위성 가정	일유량의 지속성 가정	일유량의 지속성 가정
이 용 자 료	매년의 일유량	매년의 일유량	매년의 일 최빈유량
작 성 방 법	1. 매년의 일유량을 내림차순	1. 매년의 일유량을 일자별로 나열	1. 매년의 일별 최빈유량 나열
	2. 크기순으로 합산(전 자료)	2. 동일 일자별로 합산(전 자료)	2. 동일 일자별로 합산(최빈유량)
	3. 크기순으로 산술평균	3. 동일 일자별로 산술평균	3. 동일 일자별로 산술평균
	4. 유황분석 기준유량 산정	4. 유황분석 기준유량 산정	4. 유황분석 기준유량 산정
발생일자 산정	불가능	가능	가능
지속기간 산정	불가능	가능	가능
자료값의 편중	발생(전기간 자료 산술평균)	발생(전기간 자료 산술평균)	편중 최소화(최빈유량 이용)

자료 : 저자 작성

□ 검토결과

- 기존 유황곡선법은 이미 알려져 있는 바와 같이 홍수량은 크고, 갈수량은 작게 산정되는 문제점이 있음
- 일유량법은 일유량의 지속성을 고려할 수 있으나 산술평균에 따른 자료값의 편중 문제를 해결할 수 없는 것이 단점
- 최빈유량법은 전반적으로 두 방법 보다 안정적인 값을 제공
  - 홍수량은 기존 유황분석법보다는 작고, 일유량법보다는 크게 산정
  - 갈수량은 기존 유황분석법보다는 크고, 일유량법보다는 작게 산정

표 5-2 | 분석지점의 유황분석 기준유량 산정결과 비교

(단위 : ㎥/sec)

구 분	발생일자	한강(소양강댐)					낙동강(안동댐)				
		갈수량	저수량	평수량	풍수량	홍수량	갈수량	저수량	평수량	풍수량	홍수량
기 존	월	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가
유 황	일	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가
분석법	위/365위	355	275	185	95	10	355	275	185	95	10
·	일평균	1.811	9.007	21.155	49.119	448.264	1.074	4.953	10.112	23.054	203.074
동 일	월	2	12	3	6	8	1	12	3	8	7
일 자	일	5	3	20	28	24	11	11	26	1	25
적용법	위/365위	355	275	185	95	10	355	275	185	95	10
·	일평균	6.217	16.195	32.811	69.816	344.688	4.264	7.901	16.674	41.159	119.667
5일	월	1	12	10	9	7	1	2	11	7	7
평 균	일	26	22	8	3	15	26	15	7	20	15
최 빈	위/73위	71	55	37	19	2	71	55	37	19	2
유량법	일평균	4.463	16.883	36.473	99.529	448.684	3.860	7.723	18.916	75.670	189.278

(계속)

구 분	발생일자	금강(대청댐)					섬진강(섬진강댐)				
		갈수량	저수량	평수량	풍수량	홍수량	갈수량	저수량	평수량	풍수량	홍수량
기 존	월	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가
유 황	일	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가
분석법	위/365위	355	275	185	95	10	355	275	185	95	10
·	일평균	8.642	16.660	26.489	51.702	509.748	0.252	1.855	4.346	10.862	126.650
동 일	월	2	11	4	9	7	10	12	3	6	7
일 자	일	1	6	16	23	6	29	10	28	20	15
적용법	위/365위	355	275	185	95	10	355	275	185	95	10
·	일평균	18.027	24.034	38.747	88.188	335.154	2.584	4.669	8.841	18.663	76.864
5일	월	12	11	3	6	7	1	1	4	6	8
평 균	일	22	2	22	30	10	1	21	6	20	9
최 빈	위/73위	71	55	37	19	2	71	55	37	19	2
유량법	일평균	19.274	27.270	38.082	145.726	444.425	2.552	5.429	10.333	37.184	99.144

자료 : 저자 작성

표 5-3 | 적용지점의 유황분석 기준유량 산정결과 비교

(단위 : ㎥/sec)

구 분	발생일자	한강(한강대교)					낙동강(진동)				
		갈수량	저수량	평수량	풍수량	홍수량	갈수량	저수량	평수량	풍수량	홍수량
기 존	월	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가
유 황	일	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가
분석법	위/365위	355	275	185	95	10	355	275	185	95	10
	일평균	96.471	181.285	278.433	471.309	2,518.035	95.809	142.599	196.618	350.087	2,369.430
동 일	월	12	3	1	9	7	1	12	6	8	7
일 자	일	30	8	15	22	6	8	20	15	1	6
적용법	위/365위	355	275	185	95	10	355	275	185	95	10
	일평균	182.420	243.239	325.269	469.063	1,542.201	133.206	162.381	237.136	544.858	1,326.574
5일	월	1	2	10	5	7	1	3	10	9	8
평 균	일	31	25	23	11	25	6	17	8	8	9
최 빈	위/73위	71	55	37	19	2	71	55	37	19	2
유량법	일평균	190.587	232.795	285.919	418.961	1,558.012	113.091	142.052	194.640	448.529	1,351.809

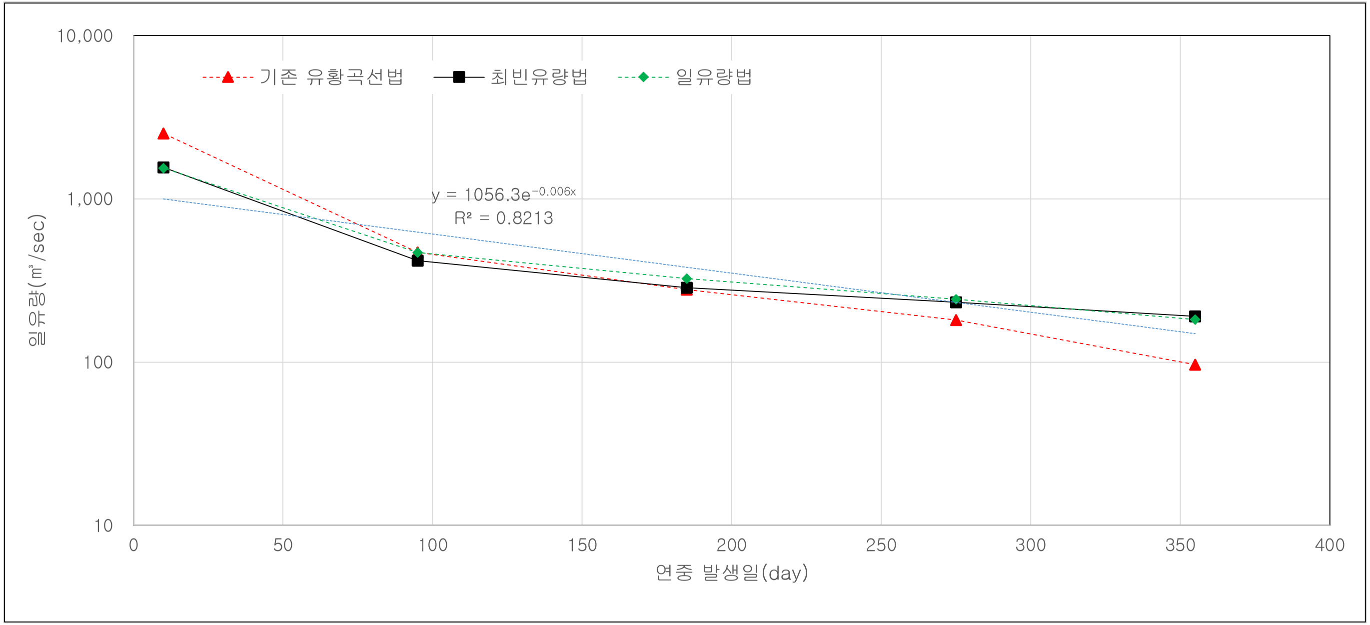
구 분	발생일자	금강(금강교)					영산강(나주대교)				
		갈수량	저수량	평수량	풍수량	홍수량	갈수량	저수량	평수량	풍수량	홍수량
기 존	월	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가
유 황	일	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가
분석법	위/365위	355	275	185	95	10	355	275	185	95	10
	일평균	36.559	50.093	67.836	114.665	668.969	12.804	17.241	25.304	43.966	433.767
동 일	월	3	11	4	6	8	1	2	6	9	7
일 자	일	31	4	11	19	5	20	16	7	9	13
적용법	위/365위	355	275	185	95	10	355	275	185	95	10
	일평균	55.228	62.534	75.015	144.171	399.598	18.972	25.688	39.850	79.208	243.442
5일	월	3	3	5	1	8	1	10	9	10	7
평 균	일	27	7	11	1	4	11	18	23	3	10
최 빈	위/73위	71	55	37	19	2	71	55	37	19	2
유량법	일평균	57.600	67.201	91.684	137.910	346.630	18.380	29.044	38.085	88.977	199.101

(계속)

구 분	발생일자	섬진강(송정)				
		갈수량	저수량	평수량	풍수량	홍수량
기 존	월	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가
유 황	일	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가	산정불가
분석법	위/365위	355	275	185	95	10
	일평균	11.292	17.091	26.257	45.202	613.603
동 일	월	1	2	3	7	8
일 자	일	29	25	21	31	8
적용법	위/365위	355	275	185	95	10
	일평균	19.094	24.213	30.011	90.127	377.242
5일	월	1	5	2	7	8
평 균	일	11	1	25	20	14
최 빈	위/73위	71	55	37	19	2
유량법	일평균	20.720	25.355	31.519	135.629	412.547

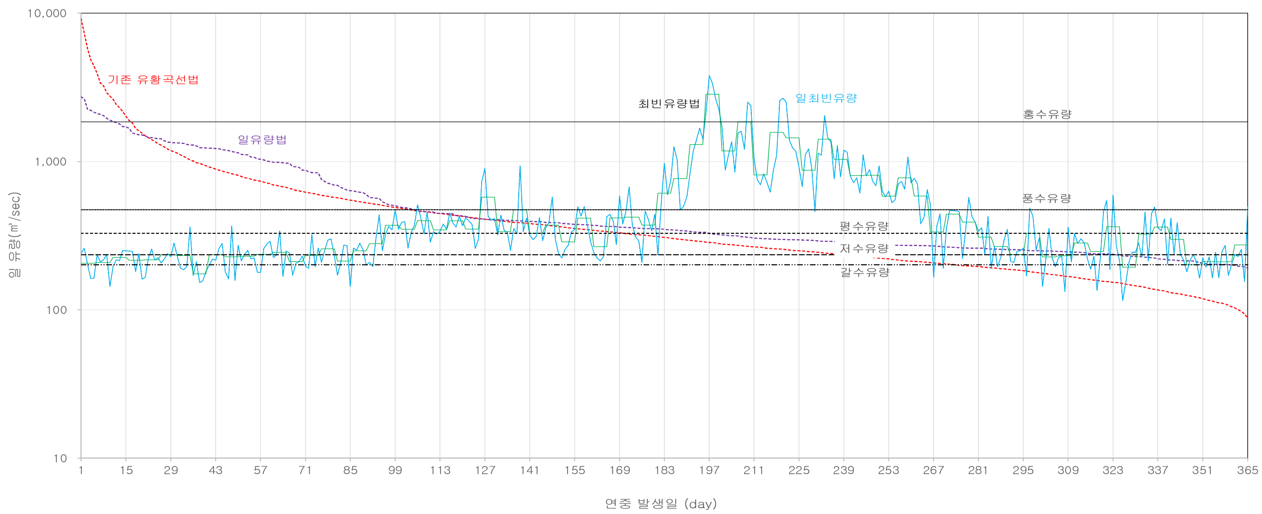
자료 : 저자 작성

그림 5-1 | 적용지점의 작성방법별 유황분석 기준유량 비교(한강 한강대교)



자료 : 저자 작성

그림 5-2 | 적용지점의 작성방법별 유황곡선 비교(한강 한강대교)



자료 : 저자 작성

(3) 일유량 불균형 계수를 이용한 지점별 유황의 불안정성 판단방안

□ 검토개요

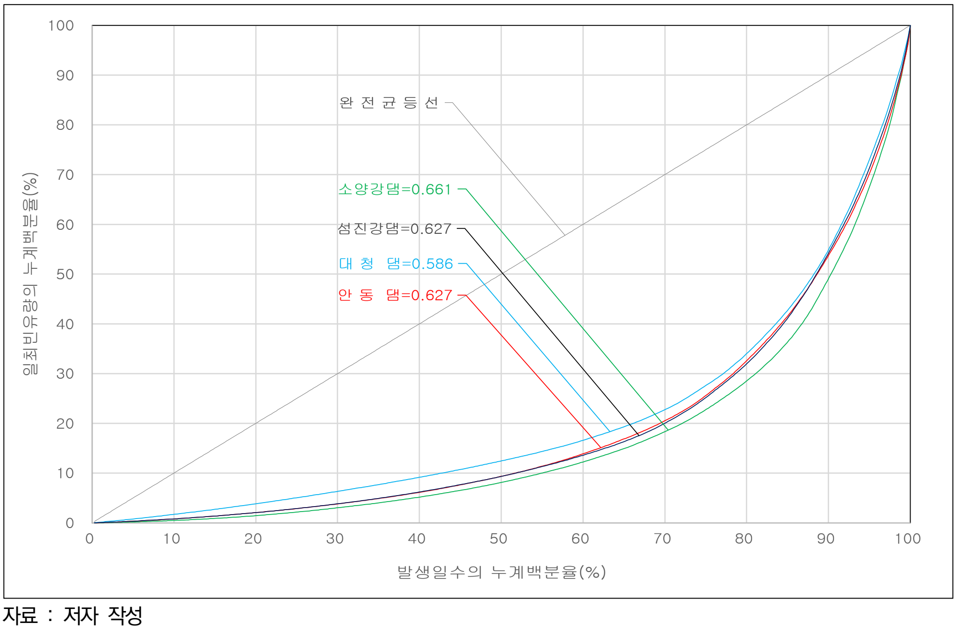
- 유황곡선 이외에 임의지점에서의 유황의 불안정성을 판단하는 새로운 방법으로 하상계수나 유황계수와 같은 기존 지표들의 문제점 보완을 위해 가칭 “일유량 불균형 계수(Daily Discharge Imbalance Coefficient : DDIC)”를 제안
- 경제학 분야에서 소득불균형 여부를 판단하는데 사용되고 있는 지니계수(Gini's Coefficient)[9]의 개념을 하천분야에 적용하여 연중 일유량의 불균형 정도를 판단하는 방법임
- 지니계수는 가로축에 인구의 누계 백분율(%), 세로축에 1인당 소득의 누계 백분율(%)을 도시하여 소득의 불균형의 정도를 판단
  - 0.20~0.25이면 소득격차가 매우 적고, 0.25~0.30이면 상당히 적고, 0.30~0.35이면 적고, 0.35~0.40이면 보통, 0.40~0.50이면 크고, 0.50~0.60이면 매우 크고, 0.70이상이면 사회적 혼란이 발생할 정도라고 판단함
  - 0.30 이하이면 안정적, 0.40 이상이면 불균형이 심한 상태로 판단
- 일유량 불균형 계수는 가로축에 일유량 발생일수의 누계 백분율(%), 세로축에 일최빈유량의 누계 백분율(%)을 도시하여 지니계수의 판단기준에 따라 연중 일유량의 불균형 정도를 판단

□ 검토결과

- 4개 분석지점의 일유량 불균형 계수는 소양강댐 0.661, 섬진강댐과 안동댐 각각 0.627, 대청댐 0.586으로 불균형이 매우 큰 것으로 나타났음
- 5개 적용지점의 일유량 불균형 계수는 송정 0.590, 진동 0.456, 나주대교 0.454, 한강대교 0.393, 금강교 0.312로 나타났음
- 한강은 0.661(소양강댐)에서 0.393(한강대교), 낙동강은 0.627(안동댐)에서 0.456(진동), 금강은 0.586(대청댐)에서 0.312(금강교) 등으로 댐 상류지점에 비해 댐 하류지점의 유황이 안정되었음을 알 수 있음
- 그러나 금강을 제외하고는 여전히 일유량의 불균형이 큰 것으로 나타났음

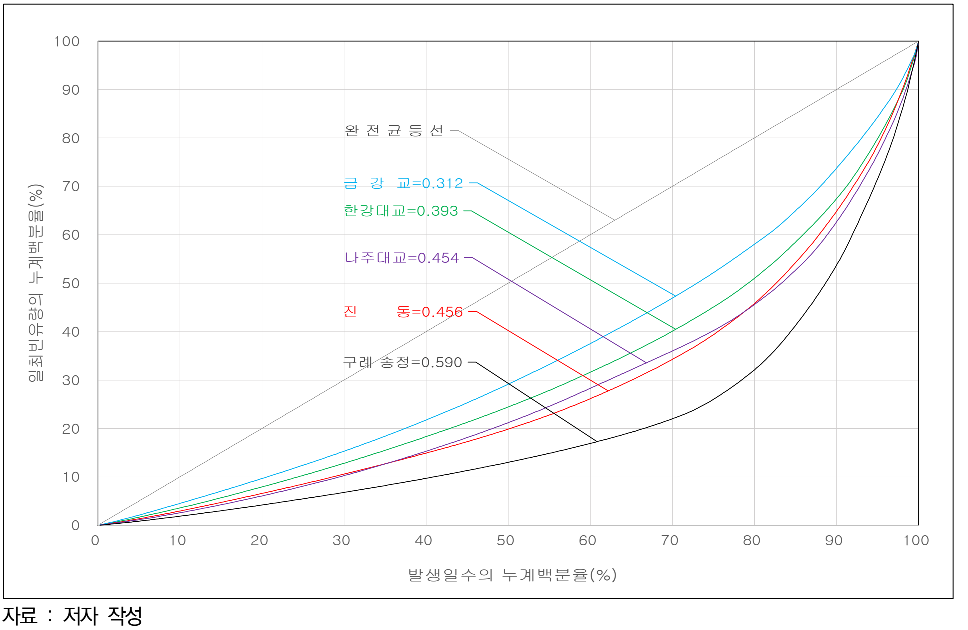
9) 다음 백과(https://100.daum.net/encyclopedia/view/24XXXXX69373) (2020년 4월 14일 검색)

그림 5-3 | 분석지점의 일유량 불균형 계수



자료 : 저자 작성

그림 5-4 | 적용지점의 일유량 불균형 계수



자료 : 저자 작성

2) 하천관리 기준유량 설정방안

(1) 홍수유량(Q_{10})을 이용한 홍수조절 기준유량 설정방안

- Grubbs & Beck 검정기준치의 상한값을 홍수조절 기준유량으로 적용하는 방안을 검토하였으나 검정기준치의 하한값이 음수로 나타나거나 상한값이 일최대유량을 초과하는 것으로 나타나 적용에 문제가 있는 것으로 나타났음
- 이상치로 판단할 수 있는 상위 2.5%에 해당하는 일유량(Q_{10}) 을 홍수조절 기준유량으로 설정하여 그 이상의 홍수를 조절했다면 홍수조절 기준유량 대비 약 11~13배 정도의 홍수조절 효과를 거둘 수 있었을 것으로 나타났음
- 따라서, 지점별 홍수유량(Q_{10})을 홍수조절 기준유량으로 설정하는 방안에 대한 구체적 검토가 필요할 것으로 사료됨

(2) 10분위 또는 20분위수 중 최소유량을 이용한 갈수관리 기준유량 설정방안

- 갈수량 산정기준이 되는 유량들의 크기를 비교해 본 결과, 자연갈수량 > 10년 빈도 갈수량 > 10년 빈도 7일 갈수량 순으로 나타났음
  - 기왕 최대갈수량은 가장 심각한 갈수의 발생연도, 세 가지 갈수량[10] 중의 선택기준, 장기간의 일유량 미확보 지점에 대한 적용방법 등이 마련되어야 하며, 논리적 근거도 미흡하여 적용이 곤란
- 현재의 갈수관리 기준유량인 10년 빈도 갈수량의 보장확률은 연평균 98.2%~99.7%로 나타나 연중 물부족이 발생되지 않도록 하기 위한 방안을 검토한 결과는 다음과 같음
- 첫째, 10년 빈도 7일 갈수량은 사용빈도도 낮고, 갈수유량(Q_{355})이나 10년 빈도 갈수량과 일관성 있는 관계가 성립되지 않아 갈수관리 기준유량으로 적용하기 어려움
- 둘째, 연중 최소유량을 갈수관리 기준유량으로 설정하는 방안은 현재의 갈수관리 기준유량인 10년 빈도 갈수량도 보장하지 못하였음
  - 10년 빈도 갈수량의 보장확률은 77.5%(금강교)에서 95.6%(나주대교)로 나타났음

10) 10년 중 1위 갈수량, 20년 중 2위 갈수량, 30년 중 3위 갈수량

- 셋째, 10분위수 중 최소유량을 갈수관리 기준유량으로 설정하는 방안은 연중 물부족 없이 공급 가능한 것으로 나타나 이 방안의 적용에 대한 논의가 필요
  - 10분위수 중 최소유량을 갈수관리 기준유량으로 설정할 경우, 한강대교 지점의 보장확률은 자연갈수량(355일) 84.6%, 10년 빈도 갈수량 100.0%, 10년 빈도 7일 갈수량 100.0%로 나타났음

(3) 일 최빈유량을 이용한 평수관리 기준유량 설정방안

- 매년의 일유량을 동일일자별로 정렬한 후 산술평균하여 일유량을 산정하면 최대값과 최소값에 의해 크게 왜곡되는 문제가 발생
- 때문에 적절한 일유량의 대표값을 선정하기 위해 최대유량에서 최소유량에 이르는 지표값들의 일평균을 산정한 결과, 이들 간에는 지수함수적 관계가 성립하지만 지점마다 크기순위가 일정하지 않았음
  - 지표값들은 최대유량, 최빈유량, 산술평균, 20% 절사평균, 최소값, 90분위수, 80분위수, 75분위수, 70분위수, 60분위수, 50분위수(중앙값), 40분위수, 30분위수, 25분위수, 20분위수, 10분위수임
- 따라서, 다음과 같은 방법으로 일별 최빈유량을 이용하는 방안을 제시
  - 매년의 일유량 자료를 동일 일자별로 오름차순하여 정렬
  - 일자별로 최대값, 최소값, 평균값 등을 산정
  - 적절한 계급구간의 수를 결정[11)]
  - 일자별 최대값과 최소값을 이용하여 적절한 계급구간으로 구분
  - 계급구간별 유량의 도수값(발생빈도수)를 구하여 최빈값 발생구간을 선정
  - 최빈값 발생구간의 최대값을 해당 일의 최빈유량으로 설정

3) 하천수 사용허가 기준유량의 개선방안

(1) 개선방향

- 현재 하천수 사용허가 기준유량으로 적용하고 있는 기준갈수량이란 분석기간 동안 매년의 자연갈수량(Q_{355})을 갈수빈도분석하여 비초과확률 10%에 해당하

11) N=30이면 Huntsberger 방법으로는 k=1+3.3*logN=1+3.3*log(30)=5.87개, Brooks와 carruthers 방법으로는 k=5*logN=5*log(30)=7.38개이므로 이상을 종합하여 k=6개 구간으로 설정

는 10년 빈도 자연갈수량[12)]임

- 자연갈수량이란 유역개발, 각종 유수 사용, 수공구조물에 의한 유량조절이 없는 자연상태의 갈수량을 의미
- 현재의 기준갈수량은 연중 매일 물부족 없이 안정적으로 용수를 공급하지 못하는 것으로 나타나 새로운 하천수 사용허가 기준유량 마련이 필요

- 따라서, 일별 최빈유량을 새로운 하천수 사용허가 기준유량으로 적용할 수 있는지의 여부를 검토
  - 현재의 하천수 사용허가 기준유량인 10년 빈도 갈수량은 연중 하나의 유량을 기준으로 하는 최소치 개념인 반면, 일별 최빈유량은 일별로 가장 자주 발생하는 일 최빈치 개념임

(2) 개선방안

- 다음과 같은 방법으로 10년 빈도 갈수량과 일별 최소유량, 일별 10분위수 유량, 일별 20분위수 유량과의 차이를 각각 일별로 산정하여 연중 물부족 일수와 물부족량을 산정하고, 이를 합산하여 연간 물부족량과 보장일수를 산정
  - 매년의 일유량 자료를 동일 일자별로 오름차순하여 정렬
  - 일자별로 최대값, 최소값, 평균값 등을 산정
  - 적절한 계급구간의 수를 결정
  - 일자별 최대값과 최소값을 이용하여 적절한 계급구간으로 구분
  - 계급구간별 유량의 도수값(발생빈도수)를 구하여 최빈값 발생구간을 선정
  - 최빈값 발생구간의 최대값을 해당 일의 최빈유량으로 설정
  - 최빈유량의 일별 보장량을 산정하여 일별 사용허가 가능여부를 판단
  - 연중 보장확률은 일별 100% 보장 여부를 평균하여 산정
- 이러한 방법은 일별로 보장 가능여부와 보장량을 알 수 있을 뿐만 아니라 보장되지 않는 기간도 파악할 수 있기 때문에 하천유량관리자에게 매우 유용
- 4개 분석지점은 일별 최소유량이나 10분위수 유량이 10년 빈도 갈수량을 만족하지 못하였으나 20분위수 유량은 물부족 없이 10년 빈도 갈수량을 충족시키는 것으로 나타났음

12) 건설교통부. 2007. 하천수 사용 관리체계 개선(Ⅰ). p.223

표 5-4 | 분석지점의 하천수 사용허가 기준유량 설정대안 비교

(단위 : ㎥/sec)

구분		단 위	한 강 (소양강댐)	낙동강 (안 동 댐)	금 강 (대 청 댐)	섬진강 (섬진강댐)
최 소 값 기 준 (〉0)	연 잉 여 량	㎥/sec/년	1,382.575	516.192	994.597	131.279
	잉 여 일 수	일/년	294	285	244	361
	연 부 족 량	㎥/sec/년	-11.661	-8.768	-151.820	-0.087
	최 소 유 량	㎥/sec	0.010	0.001	0.100	0.013
10분위수 기 준	연 잉 여 량	㎥/sec/년	3,288.234	1,375.540	3,379.741	390.340
	잉 여 일 수	일/년	360	352	364	319
	연 부 족 량	㎥/sec/년	-0.607	-1.072	-0.193	-1.797
	최 소 유 량	㎥/sec	0.093	0.090	2.903	0.025
20분위수 기 준	연 잉 여 량	㎥/sec/년	5,003.158	2,169.965	5,198.157	771.154
	잉 여 일 수	일/년	365	365	365	365
	연 부 족 량	㎥/sec/년	0.000	0.000	0.000	0.000
	최 소 유 량	㎥/sec	0.565	0.855	7.000	0.046
검 토 결 과			20분위 채택	20분위 채택	20분위 채택	20분위 채택

주 : 연 잉여량이란 (최소값-기준갈수량)의 연간 합

자료 : 저자 작성

- 5개 적용지점은 일별 최소유량은 5개 지점 모두 10년 빈도 갈수량을 만족하지 못하였으나 20분위수에서 물부족이 없었던 송정 지점을 제외한 4개 지점은 모두 10분위수에서 10년 빈도 갈수량을 충족시키는 것으로 나타났음

표 5-5 | 적용지점의 하천수 사용허가 기준유량 설정대안 비교

(단위 : ㎥/sec)

구분		단 위	한 강 (한강대교)	낙동강 (진 동)	금 강 (금강교)	영산강 (나주대교)	섬진강 (송정)
최 소 값 기 준 (〉0)	연 잉 여 량	㎥/sec/년	15,969.153	13,764.542	4,199.333	1,744.207	1,711.508
	잉 여 일 수	일/년	328	338	283	349	291
	연 부 족 량	㎥/sec/년	-470.116	-321.759	-241.175	-16.333	-101.608
	최 소 유 량	㎥/sec	16.780	1.490	7.940	6.070	0.830
10분위수 기 준	연 잉 여 량	㎥/sec/년	31,451.509	27,508.925	8,990.367	2,887.697	3,284.891
	잉 여 일 수	일/년	365	365	365	365	357
	연 부 족 량	㎥/sec/년	0.000	0.000	0.000	0.000	-6.091
	최 소 유 량	㎥/sec	61.404	33.526	21.180	9.478	4.790
20분위수 기 준	연 잉 여 량	㎥/sec/년	45,022.289	36,350.457	11,906.065	3,948.293	4,749.940
	잉 여 일 수	일/년	365	365	365	365	365
	연 부 족 량	㎥/sec/년	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	최 소 유 량	㎥/sec	79.318	52.352	26.704	10.672	3.826
검토 결과			10분위 최소값	10분위 최소값	10분위 최소값	10분위 최소값	20분위 최소값

주 : 연 잉여량이란 (최소값-기준갈수량)의 연간 합

자료 : 저자 작성

- 따라서, 지점에 따라 10분위수 최소유량 또는 20분위수 최소유량을 하천수 사용허가 기준유량으로 설정하면 연중 물부족 없이 하천유량을 관리할 수 있을 것으로 사료됨
  - 추가적인 유량 확보가 가능하다면 가급적 20분위 최소유량을 하천수 사용허가 기준유량으로 설정하면 연중 안정적인 유량관리가 가능할 것으로 사료됨

4) 관리기간의 구분 및 관리기간별 기준유량 설정방안

(1) 개선방향

- 현재는 홍수시의 유량관리를 위한 홍수특보 발령기준과 갈수시의 유량관리를 위한 갈수예보기준 등 극한상황에서의 하천유량을 중심으로 관리하고 있으며, 관리기간도 홍수기(6월 21일~9월 20일)만 규정하고 있음
- 따라서, 하천유량관리자가 연중 관리기간을 평상시, 갈수시, 홍수시 등 보다 세분하여 관리기간별 기준유량에 의해 관리할 수 있도록 관리기간의 구분방법, 기준유량의 설정방법과 범위 마련이 필요
- 이를 위해, 일최빈유량의 변화 추이, 최빈유량의 누계속선 기울기, 5일 평균 최빈유량의 변화 추이 등을 하나의 그래프에 나타내어 관리기간을 구분하는 방안을 제시
- 관리기간별 기준유량은 구분된 관리기간별로 갈수량, 저수량, 평수량, 풍수량, 홍수량 중에서 일최빈유량과의 차의 평균이 최소가 되는 유량으로 설정

(2) 5일 평균 최빈유량을 이용한 관리기간 구분방안

- 4개 분석지점 모두 다음과 같이 겨울 관리기, 봄 관리기, 여름 관리기, 가을 관리기라는 4개 관리기간으로 구분할 수 있음
  - 겨울관리기는 전년도 11월 중순 혹은 12월 중순부터 다음 해 2월 중순이나 3월 말까지
  - 봄관리기는 2월 중순 혹은 4월 초순부터 6월 중순까지
  - 여름관리기는 6월 중순부터 9월 하순 또는 10월 초순까지
  - 가을관리기는 9월 하순 또는 10월 초순부터 11월 중순 또는 12월 중순까지

표 5-6 | 분석지점의 관리기간 구분 및 관리기간별 기준유량

(단위 : ㎥/sec)

구 분		겨울 관리기		봄 관리기		여름 관리기		가을 관리기		겨울 관리기		계	
		시작	종료	시작	종료	시작	종료	시작	종료	시작	종료		
한 강 (소양강댐)	월	1	3	4	6	6	9	9	11	11	12		
	일	1	31	1	19	20	22	23	11	12	31		
	관리일수	90일		80일		95일		50일		50일		365일	
	기준유량	저수량	16.883	평수량	36.473	풍수량	99.529	평수량	36.473	저수량	16.883	연평균	91.027
낙동강 (안동댐)	월	1	2	2	6	6	9	9	11	11	12		
	일	1	19	20	19	20	27	28	11	12	31		
	관리일수	50일		120일		100일		45일		50일		365일	
	기준유량	갈수량	3.860	평수량	18.916	풍수량	75.670	평수량	18.916	저수량	7.723	연평균	43.514
금 강 (대청댐)	월	1	2	2	6	6	10	10	12	12	12		
	일	1	19	20	14	15	2	3	21	22	31		
	관리일수	50일		115일		110일		80일		10일		365일	
	기준유량	갈수량	19.274	평수량	38.082	풍수량	145.726	저수량	27.270	갈수량	19.274	연평균	103.346
섬진강 (섬진강댐)	월	1	2	2	6	6	10	10	12	12	12		
	일	1	19	20	14	15	2	3	16	17	31		
	관리일수	50일		115일		110일		75일		15일		365일	
	기준유량	저수량	5.429	평수량	10.333	풍수량	37.184	저수량	5.429	갈수량	2.552	연평균	26.269

자료 : 저자 작성

- 5개 적용지점들도 모두 다음과 같이 겨울 관리기, 봄 관리기, 여름 관리기, 가을 관리기라는 4개 관리기간으로 구분할 수 있음
  - 겨울관리기는 11월 중하순 혹은 12월 중순 및 3월 하순 또는 5월 초순까지
  - 봄관리기는 겨울 관리기 종료일로부터 6월 중하순까지
  - 여름관리기는 봄 관리기 종료일로부터 9월 하순 또는 10월 초순까지
  - 가을관리기는 여름 관리기 종료일로부터 11월 중하순 또는 12월 중순까지

표 5-7 | 적용지점의 관리기간 구분 및 관리기간별 기준유량

(단위 : ㎥/sec)

구 분		겨울 관리기		봄 관리기		여름 관리기		가을 관리기		겨울 관리기		계	
		시작	종료	시작	종료	시작	종료	시작	종료	시작	종료		
한 강 (한강대교)	월	1	3	3	6	6	9	9	12	12	12		
	일	1	30	31	29	30	22	23	11	12	31		
	관리일수	89일		91일		85일		80일		20일		365일	
	기준유량	저수량	232.78	평수량	285.92	풍수량	418.96	평수량	285.92	갈수량	190.59	연평균	432.15
낙동강 (진 동)	월	1	4	4	6	6	10	10	12	12	12		
	일	1	5	6	19	20	7	8	16	17	31		
	관리일수	95일		75일		110일		70일		15일		365일	
	기준유량	저수량	142.05	평수량	194.64	풍수량	448.53	저수량	142.05	저수량	142.05	연평균	351.12
금 강 (금강교)	월	1	5	5	6	6	9	9	11	11	12		
	일	1	10	11	19	20	22	23	21	22	31		
	관리일수	130일		40일		95일		60일		40일		365일	
	기준유량	저수량	67.20	평수량	91.68	풍수량	137.91	평수량	91.68	저수량	67.20	연평균	114.22

자료 : 저자 작성

(계속)

구 분		겨울 관리기		봄 관리기		여름 관리기		가을 관리기		겨울 관리기		계	
		시작	종료	시작	종료	시작	종료	시작	종료	시작	종료		
영산강 (나주대교)	월	1	3	3	6	6	10	10	11	11	12		
	일	1	6	7	19	20	7	8	16	17	31		
	관리일수	65일		105일		110일		40일		45일		365일	
	기준유량	갈수량	18.38	평수량	38.09	풍수량	88.98	저수량	29.04	평수량	38.09	연평균	62.84
섬진강 (송 정)	월	1	4	4	6	6	10	10	11	11	12		
	일	1	25	26	18	19	7	8	26	27	31		
	관리일수	115일		60일		105일		50일		35일		365일	
	기준유량	저수량	25.36	평수량	31.52	풍수량	135.63	평수량	31.52	저수량	25.36	연평균	91.96

자료 : 저자 작성

(3) 5일 평균 유량을 이용한 관리기간별 기준유량 설정방안

- 평상시에는 5일 평균 최빈유량을 기준으로 봄, 여름, 가을, 겨울 관리기로 구분할 수 있으나 홍수기에는 최빈유량보다는 최대유량에 의해 좌우되기 때문에 최빈유량을 기준으로 관리하는데 어려움이 있음
- 따라서, 5일 평균 최대유량을 이용하면 평상시나 홍수기에 구애받지 않고 하천유량관리자가 관리해야 할 기준유량의 범위를 파악할 수 있음
  - 5일 평균을 채택하는 이유는 기존의 유황분석 기준유량들이 5일 단위로 구분되고, 1년(365일)이 5일씩 73개 구간으로 명확히 구분되는 등 기간구분을 위한 최소단위로 적정하다고 사료되기 때문임
  - 5일 기준으로 365일을 구분하면 갈수량(355일)은 71위, 저수량(275일)은 55위, 평수량(185일)은 37위, 풍수량(95일)은 19위, 홍수량(10일)은 2위에 해당
- 관리기간별 관리유량의 범위는 평상시 기준유량(5일 평균 최빈유량)과 홍수기 기준유량(5일 평균 최대유량) 사이에서 설정할 수 있음
  - 다만, 본 연구에서 제시한 홍수량은 일평균 홍수량이어서 실제 홍수조절을 위한 첨두홍수량과는 차이가 있음에 유의
- 소양강댐 지점의 경우, 유황분석 기준유량별 기준유량의 범위는 다음과 같음
  - 갈수량은 4.46㎥/sec일에서 22.61㎥/sec 이내에서 관리
  - 저수량은 16.88㎥/sec에서 90.24㎥/sec 이내에서 관리
  - 평수량은 36.47㎥/sec에서 183.26㎥/sec 이내에서 관리
  - 풍수량은 99.53㎥/sec에서 608.53㎥/sec 이내에서 관리
  - 홍수량은 448.68㎥/sec에서 2,698.62㎥/sec 이내에서 관리
  - 일 최대유량은 7,062.60㎥/sec, 5일 평균 최대유량은 2,760.82㎥/sec

표 5-8 | 분석지점의 유황분석 기준유량별 관리범위

(단위 : ㎥/sec)

구 분	검토항목	갈수량	저수량	평수량	풍수량	홍수량	5일 최대	일 최대
한 강	5일 평균 최대	22.614	90.236	183.262	608.534	2,698.620	2,760.820	7,062.600
(소양강댐)	5일 평균 최빈	4.463	16.883	36.473	99.529	448.684	457.599	
낙동강	5일 평균 최대	14.900	40.400	106.181	458.460	1,139.281	1,190.139	3,499.293
(안동댐)	5일 평균 최빈	3.860	7.723	18.916	99.529	189.278	197.847	
금 강	5일 평균 최대	19.274	27.270	38.082	145.726	444.425	2,842.569	5,321.200
(대청댐)	5일 평균 최빈	19.274	27.270	38.082	145.726	444.425	471.804	
섬진강	5일 평균 최대	13.380	31.444	62.795	223.500	596.046	783.301	1,533.102
(섬진강댐)	5일 평균 최빈	2.552	5.429	10.333	37.184	99.144	130.504	

자료 : 저자 작성

- 한강대교 지점의 경우, 유황분석 기준유량별 기준유량의 범위는 다음과 같음
  - 갈수량은 190.59㎥/sec에서 469.38㎥/sec 이내로 관리
  - 저수량은 232.80㎥/sec에서 648.31㎥/sec 이내로 관리
  - 평수량은 285.92㎥/sec에서 1,008.22㎥/sec 이내로 관리
  - 풍수량은 418.96㎥/sec에서 2,006.45㎥/sec 이내로 관리
  - 홍수량은 1,558.01㎥/sec에서 8,850.63㎥/sec 이내로 관리
  - 일 최대유량은 16,220.06㎥/sec, 5일 평균 최대유량은 9,615.64㎥/sec

표 5-9 | 적용지점의 유황분석 기준유량별 관리범위

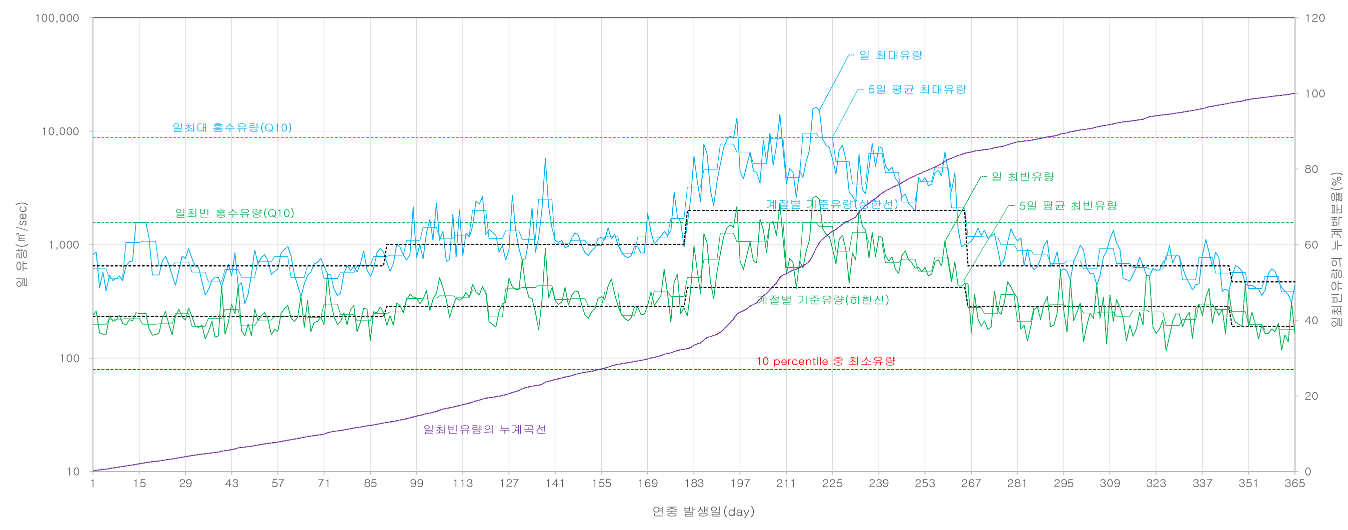
(단위 : ㎥/sec)

구 분	검토항목	갈수량	저수량	평수량	풍수량	홍수량	5일 최대	일 최대
한 강	5일 평균 최대	469.382	648.308	1,008.224	2,006.448	8,850.632	9,615.636	16,220.060
(한강대교)	5일 평균 최빈	190.587	232.795	285.919	418.961	1,558.012	1,571.288	
낙 동 강	5일 평균 최대	312.590	415.670	703.006	2,678.986	8,219.996	8,354.772	11,996.919
(진 동)	5일 평균 최빈	113.091	142.052	237.136	544.858	1,326.574	1,373.632	
금 강	5일 평균 최대	110.006	152.620	232.412	694.676	2,130.284	2,354.346	4,151.890
(금 강 교)	5일 평균 최빈	57.600	67.201	91.684	137.910	346.630	385.354	
영 산 강	5일 평균 최대	38.974	69.344	163.648	538.996	1,224.094	1,521.352	4,232.380
(나주대교)	5일 평균 최빈	18.380	29.044	38.085	88.977	199.101	251.083	
섬 진 강	5일 평균 최대	40.214	66.906	122.034	833.504	2,491.300	2,998.016	4,687.820
(송 정)	5일 평균 최빈	20.720	25.355	31.519	135.629	412.547	497.176	

자료 : 저자 작성

- 이러한 분석결과들을 종합해 보면 관리기간은 해당 지점의 유출특성, 상류유역의 개발여부, 강우특성 등 지점특성, 유역특성, 기상특성에 따라 달라지는 것으로 사료됨

그림 5-5 | 적용지점의 관리기간 및 기준유량(한강 한강대교)



자료 : 저자 작성

3. 정책적 개선방안

1) 운영관리 개선방안

(1) 관측자료 기반의 하천관리 기준유량 마련

- 현재의 유량관리는 홍수기의 홍수주의보·홍수경보를 위한 지점별 계획홍수량과 갈수예보를 위한 10년 빈도 갈수량을 하천유량관리를 위한 기준유량으로 사용하고 있음
- 그러나 계획홍수량은 강우–유출모형에 의해 추정된 유량을 이용하고 있으므로 관측유량에 기반한 유량관리로의 전환과 이를 위한 기준유량 마련이 필요

(2) 일유량의 결측치 보완 방안 마련

- 하천유량을 측정하다보면 불가피하게 결측이 발생되는데 적절한 방법으로 결측유량을 보완하여 통계분석 및 하천유량관리에 지장이 없도록 관리해야 함
- 하천유량의 결측치를 보완하는 방법으로는 수위–유량자료 이용법, 인근 지점과의 동시기록 상관성 검토를 통한 회귀분석방법, 추계학적 방법에 의한 추정방법 등 다양한 방법들이 있으므로 이를 참고하여 결측치를 보완

(3) 평년 기준의 유량관리달력 마련

- 홍수·갈수 등 극한기간뿐만 아니라 평상시의 안정적 유량관리를 위하여 지점별로 평년(30년) 자료를 이용한 일최빈유량, 5일 평균 최빈유량, 5일 평균 최대유량 등을 표시한 가칭 “유량관리달력”을 마련·활용
- 또한, 자료의 관측기간이 통계적 유의성을 갖는 30년 미만인 경우, 다음과 같은 방법으로 단기간 관측기간의 적합성을 검정하여 사용하는 방안을 검토
  - 첨자 S를 단기간, L을 장기간이라 하면, 평균(X_S/X_L), 표준편차(S_S/S_L), 왜곡도계수(g_S/g_L)가 1~15% 이내이면 단기간 자료가 적합하다고 판단

(4) 연구결과에 대한 검정 및 공론화

- 본 연구에서는 5대강 주요 지점을 대상으로 장기간의 관측 일유량을 통계분석하여 다양한 특성들을 분석하고, 그 결과를 토대로 여러 가지 연구결과들을 제안하였으므로 다른 지점에의 적용성 검증 및 활용방안에 대한 공론화가 필요

- 유황분석 관련 : 일유량 불균형 계수 제안, 최빈유량법(유황곡선 작성) 등
- 홍수조절 기준유량의 설정 : 분석기간 동안의 일유량 중, 연중 상위 2.5%에 해당하는 Q_{10} 이상의 일유량을 홍수조절 기준유량으로 설정하고, 홍수조절 효과를 산정하는 방법 등
- 갈수관리 기준유량의 설정 : 분석기간 동안의 일유량 중, 10분위수 또는 20분위수 중 최소유량을 갈수관리 기준유량으로 설정하고, 갈수조절 효과를 산정하는 방법 등
- 평수관리 기준유량의 설정 : 분석기간 동안의 5일 평균 최빈유량을 평상시의 하천관리 기준유량으로 설정하는 방안 등
- 하천수 사용허가 기준유량의 설정 : 현재의 10년 빈도 갈수량의 연중 보장확률은 100%에 못 미치므로 20분위수 또는 10분위수의 최소값을 새로운 기준유량으로 설정하는 방안 등
- 관리기간의 구분 방법 : 계절별 최빈 평균유량을 기준으로 관리하되, 해당 월별, 24절기별, 5일 평균 최빈유량 등을 참고하여 관리하는 방안 등
- 관리기간별 관리유량의 범위 설정방법
  - 5일 평균 최빈유량을 하한값, 5일 평균 최대유량을 상한값으로 기준유량을 설정·관리하는 방안
  - 계절별 최빈 평균유량을 기준으로 관리하되, 해당 월별, 24절기별, 5일별 평균 최빈유량을 참고하여 관리하는 방안
  - 일별, 24절기별, 월별, 계절별 등으로 관리기간을 세분화하면 유량관리의 예측력도 제고시키고, 관리목적에 부합하도록 탄력적 유량관리가 가능
  - 또한, 관리기간별로 관리유량의 범위를 설정하면 하천유량관리자가 관리목적과 관리기간을 고려하여 필요한 기준유량을 선택적으로 참고할 수 있음

2) 법·제도 개선방안

(1) 하천관리 기준유량의 개념 재정립

- 하천유량관리의 목적을 달성하고, 문제점들을 개선하기 위해 하천관리 기준유량을 다음과 같이 새롭게 정의
  - 하천관리 기준유량이란 하천 임의점에서 연중 홍수를 조절하고, 갈수를 관

리하며, 평상시의 하천이용 및 환경보전에 지장이 없도록 하기 위해 필요한 관리기간별 기준이 되는 유량의 범위를 말함

- 하천관리 기준유량의 구체적 산정방법 및 적용방법에 대해서는 지속적 논의를 거쳐 환경부 홍수통제소의 지침으로 규정

(2) 하천유량 관련 용어 정리 및 표준화

- 하천유량과 관련하여 유사·중복·불필요한 용어들을 사용빈도수, 의미의 중요도, 의미전달의 명확성 등을 고려하여 유량크기별·하천관리 목적별로 정리하고 표준화해야 함
- 또한, 최근의 첨단기술 및 하천관리 여건변화와 관련하여 새로 발생되는 신규 용어들에 대하여 용어의 의미와 국문·한문·영문 용어를 명확하게 정의

(3) 유량 감소에 따른 선제적 대응방안 마련

- 본 연구에서 분석한 바에 따르면, 5대강 본류 상류 및 하류 주요 지점에서의 일유량이 완만하게 감소되는 경향을 나타내고 있음
- 따라서, 유량감소의 원인분석과 아울러 그에 따른 적절한 구조적·비구조적 대책 마련이 필요

CHAPTER 6

결론 및 향후 과제

CHAPTER 6

결론 및 향후 과제

1. 연구의 의미와 정책건의

1) 연구의 의미

- 정부에서는 관측유량의 중요성을 인식하고 주요 지점에 대하여 지속적으로 일유량을 관측하고 있으나 관측결과를 실무적으로 활용하기 위한 다양한 방안 마련은 아직까지는 미흡한 실정임
- 본 연구에서는 5대강 상류 4개 다목적댐 지점의 장기간 관측유량의 특성을 분석하고, 그 결과를 본류 하류의 5개 지점들에 적용할 수 있는지를 검토하였음
  - 확률분석적 방법은 유량의 발생빈도나 크기를 결정하는 데에는 유용하지만 유량의 지속시간을 파악하기는 어려움
  - 따라서, 관리기간의 구분이나 관리기간별 관리유량의 범위를 설정하는 데 유리한 통계분석 방법을 이용하였음
- 본 연구는 그동안 축적된 관측 일유량을 통계분석하여 하천유량관리를 위한 기준유량의 범위 설정방안 등 다양한 개선방안들을 제시하였음
- 향후 본 연구결과에 대해 공론화 등 적절한 의견수렴을 거쳐 수정·보완하면 연구결과의 활용성이 높을 것으로 기대됨

2) 정책건의

- 본 연구결과를 토대로 하천유량관리를 위한 운영관리 개선방안과 법·제도적 개선방안 등 다양한 정책적 개선방안들을 제시하였음
- 분석결과, 5대강 상·하류 주요 지점에서 일유량이 완만하게 감소하는 것으로 나타나 이에 대한 중·장기적 대책마련이 필요

2. 연구의 한계와 향후 과제

1) 연구의 한계

- 본 연구에서는 5대강 본류 상·하류 주요 지점을 대상으로 일유량의 특성을 분석하고, 적용 가능성을 검토하여 다양한 개선방안들을 제시하였음
- 향후에는 5대강 중류 지점 및 주요 지천 등으로 대상지역을 확대하여 유역별·하천별·지점별 특성을 고려한 하천유량 관리방안 마련이 필요

2) 향후 과제

- 본 연구에서는 통계적 유의성을 가지는 충분한 기간의 관측유량이 확보되는 주요 지점들을 대상으로 분석하였음
- 따라서, 장기간의 관측자료를 확보하지 못하거나 미계측 유역 또는 간헐적 계측 유역에 대한 일유량의 특성을 분석하고, 이를 토대로 하천관리 기준유량을 설정하는 방안에 대해서도 연구가 필요
- 하천유량관리자가 실제로 홍수를 조절하기 위한 유량은 본 연구에서 제시한 일평균 홍수량이 아니라 첨두홍수량이므로 이들 간의 관계분석이 필요
- 기후변화에 따른 일유량의 변화 추이에 대한 연구도 필요

참고문헌

REFERENCE

【 인용문헌 】

건설교통부. 2006. 수자원 장기종합계획(2006~2020).

건설교통부. 2007. 하천수 사용 관리체계 개선(Ⅰ).

국토해양부. 2009. 하천수 사용허가 업무매뉴얼.

국토해양부. 2009. 하천유지유량 산정요령(중하위-2호, 2009.10.30.).

김민규. 2008. TANK 모형을 이용한 하천기준유량 산정방법 개발 및 적용에 관한 연구. 석사학위논문. 전남대학교.

박상덕. 2003. 자연하천의 무차원 유황곡선. 한국수자원학회 논문집 49(8) 33-44

박정은, 김한나, 류경식, 이을래. 2016. 시·공간적 유량변화를 고려한 탄력적 하천관리 기준유량 산정 및 평가. 한국수자원학회 논문집 49(8) 통권 제289호. 673-683

윤용남. 1986. 공업수문학. 서울:청문각.

임성균. 2012. 남강댐 주요 지점의 무차원 유황곡선. 석사학위논문. 경상대학교.

정승교. 2018. 효율적인 하천수 사용허가 기준유량 산정을 위한 계절성을 고려한 갈수량 평가에 관한 연구. 석사학위논문. 서울시립대학교.

정종호, 윤용남. 2004. 수자원 설계실무. 서울:구미서관

한국물학술단체연합회, 2011. 물용어집. 대전:수자원공사연구원.

환경부령 제764호. 2018.6.8. 시행. 수자원의 조사계획 및 관리에 관한 법률 시행규칙. 별표 1 및 별표 2

【 웹문서 】

국가건설기준센터(http://www.kcsc.re.kr/StandardCode/Viewer/30103#title-82) (2020년 4월 14일 검색)

국어사전(https://ko.dict.naver.com/#/search? query=%EC%9C%A0%ED%99%A9) (2020년 6월 15일 검색)
나무위키(https://namu.wiki/w/%EB%8C%80%ED%91%AF%EA%B0%92) (2020년 4월 15일 검색)
동신한의 조재성(이상치)(https://nittaku.tistory.com/450) (2020년 6월 15일 검색)
물백과사전(http://water.or.kr/encyclopedia/encyclopedia/encyclopedia.do? seq=1649&p_group_seq=66&menu_mode=1) (2020년 4월 14일 검색)
영어사전(https://en.wikipedia.org/wiki/River_regime) (2020년 6월 15일 검색)
위키백과(https://ko.wikipedia.org/wiki/%EB%B0%B1%EB%B6%84%EC%9C%84%EC%88%98) (2020년 4월 15일 검색)
하천용어해설(http://www.molit.go.kr/brocm/USR/WPGE0201/m_24277/DTL.jsp) (2020년 4월 14일 검색)

【 법령 】

댐과 보 등의 연계운영규정. 2018. 환경부훈령 제1348호 (6월 29일 제정)
물환경보전법. 2017. 법률 제15194호 (1월 17일 개정) 제22조의3 제1항.
수문(水文) 자료의 공인 및 저장 배포 활용 기준. 2017. 국토교통부고시 제2017-793호 (11월 29일 일부 개정) 제6조.
수문조사시설의 설치환경 및 유지·관리와 수문자료의 품질관리기준. 2018. 환경부고시 제2018-94호 (6월 15일 제정) 제3조.
수자원의 조사·계획 및 관리에 관한 법률 시행규칙. 2018. 환경부령 제764호 (6월 8일 타 법 개정) 제2조 제3항, 제3조 제1항.
하천법 시행령. 2009. 대통령령 제30358호 (11월 16일 개정) 제24조 제2항 제6호
수자원의 조사·계획 및 관리에 관한 법률. 2017. 법률 제14544호 (1월 17일 제정) 제3조 제1항.
하천법. 2009. 법률 제17453호 (4월 1일 개정) 제51조.
하천수 사용허가 세부기준. 2019. 환경부고시 제2019-259호 (12월 31일 제정)

SUMMARY

A Proposal to Establish the Reference Discharges for Rational River Management

Park Tae Sun

Key words: River Management Reference Discharge, Flow Duration Curve, Reference Discharge for River Water Use Permission, Hydrological Statistical Characteristics Analysis

The purpose of this study is to provide a variety and reliable information for river system managers through statistical analysis of historical daily discharge data so that flow regimes can be managed in rationalized and scientific ways. The main contents and results of this study are as follows.

Firstly, an concept is introduced to re-establish what reference discharges mean for river management. The reference discharges, in this study, are defined as a range of flows at a point along river that can be used not only to control flooding or drought but to manage river system for water users including environment without compromising their right to access water from the system. In order to avoid confusions among different definitions related to river discharges, it is also proposed to re-classify the definitions depending on hydrologic regimes and their management purposes to service users and communities.

Secondly, ways to improve river management depending on the management purposes are discussed. It is proposed to improve the existing flow regime

analysis method with a new approach using the daily mode discharge (the most frequently observed discharge each day over a long period). In addition, a parameter called “daily discharge imbalance index” is developed and applied to determine instability of flow regimes at any point throughout the year. To set the reference discharges for different river management purposes, flows over Q_{10} are set to be a reference discharge for flood control. Similarly the minimum discharge of the first decile of the daily mode discharge is treated as a reference discharge for dry regime. It was proposed to apply the minimum value of the 20th percentile throughout the year as a new reference discharge for river water use permit. By overlapping the daily mode discharge and cumulative daily discharge curve, the management period of a river system is divided into four seasons: spring, summer, autumn, and winter. According to this classification, it is proposed to manage the daily discharge within the range of 5 day mode averaged values of mode and maximum discharges.

Thirdly, this report puts forward a number of policy improvement measures. In the river operation space, measures proposed are use of daily observed discharge instead of estimates from a rainfall-runoff model in managing river discharge; development of a systematic approach to fill gaps of observed data; development and use of a daily discharge management calendar based on a long term measured data (roughly around 30 years or so); and development of a scientific method to test future impacts of climatic changes. It is also discussed the importance of opportunities for various researches and their outcomes to be scrutinized and publicized in open and transparent environment. In a legal and institutional frame, the term “River Management Reference Discharge” should be defined. Other related definitions to the daily discharge should also be standardized. Various preemptive measures need to be prepared to counterbalance potential reduction of discharge.

부 록

APPENDIX

▣ 부록 1 : 수문(水文)자료의 공인 및 저장배포 활용기준[1)]

부표 1 | 수문조사보고서 작성 관련 유량관련 용어 정의

구 분	구성항목		비 고
유량산정 방법검토	산 정 방 법		• 수위-유량 관계곡선식을 활용 경우 : 곡선식 적용(기간분리, 구간분리, 수위범위 등) 적정성 등을 검토
			• 자동유량측정시설 측정자료를 활용할 경우 : 유량산정 방법, 시설 운영현황, 결측 및 이상치 보간방법 등의 적정성 검토
경 향 성 검 토	유 출 량		• 상하류 인근 관측소와 생산된 시유량 및 누가유량 등의 비교를 통하여 생산된 유량자료의 타당성 및 동질성 검토 자료
기 본 통계자료 검 토	일평균유량	정 의	• 1일을 통하여 1시부터 24시까지 매시 유량의 합을 24로 나눈 유량
		결측기준	• 시간유량이 결측인 경우 결측처리
	일최대유량	정 의	• 1일을 통하여 나타난 최대의 유량
		결측기준	• 1일 동안 생산된 유량에 결측이 있는 경우 결측처리 - 다만, 일최대유량이라고 판단되는 유량이 결측되지 않으면 일최대유량을 산정
	월평균유량	정 의	• 1개월을 통하여 일평균유량의 합을 자료의 수로 나눈 유량
		결측기준	• 일평균유량에 결측이 4일 이상인 경우 결측처리
	월최소유량 월최대유량	정 의	• 1개월을 통하여 나타난 최소·최대의 유량
		결측기준	• 월평균유량이 결측인 경우 결측처리 - 다만, 월평유량이 결측이더라도 월최소·최대유량이라고 판단되는 유량이 결측되지 않으면 월최소·최대유량을 산정
	월 총유량	정 의	• 1개월을 통하여 시유량의 합에 3,600(단위환산계수)을 곱한 유량
		결측기준	• 월평균유량이 결측인 경우 결측처리
	연평균유량	정 의	• 1년을 통하여 일평균유량의 합을 자료의 수로 나눈 유량
		결측기준	• 월평균유량에 결측이 1회 이상 있는 경우 결측처리
	연최소유량 연최대유량	정 의	• 1년을 통하여 발생한 최소·최대의 유량
		결측기준	• 연평균유량이 결측인 경우 결측처리 - 다만, 연평균유량이 결측이더라도 연최소·최대유량이라고 판단되는 유량이 결측되지 않으면 연최소·최대유량을 산정
	연 총유량	정 의	• 1년을 통하여 일평균유량의 합에 86,400(단위환산계수)을 곱한 유량
		결측기준	• 월평균유량값 중 하나라도 결측인 경우 결측처리
	갈 수 량 저 수 량 평 수 량 풍 수 량	정 의	• 1년 중에서 355·275·185·95일은 이보다 적지 않은 유량
		결측기준	• 연간 일평균유량에 결측이 11일 이상인 경우 결측처리 - 다만, 연간 일평균유량에 결측이 10일 이하인 경우 통계값 산정 기준일은 결측일을 제외한 1년간 관측 총일수의 비(소수점 반올림)로 산정 *관측 총일수의 비(%) : 갈수량 97%, 저수량 75%, 평수량 51%, 풍수량 26%

1) 환경부고시 제2018-93호, 2018.6.15. 제정. 환경부(수자원관리과) [별표 1] 수문조사보고서(제6조 관련)

(계속)

구 분	구성항목	비 고	
	유 량 변 동 계 수	정 의	• 연최소일유량과 연최대일유량의 비
		결측기준	• 연간 일평균유량의 결측이 11일 이상인 경우 결측처리 - 다만, 결측일이 11일 이상이더라도 연최소일유량과 연최대일유량이 결측되지 않은 경우로 판단될 때에는 유량변동계수를 산정한다
	관 측 일 수	정 의	• 1년을 통하여 일평균유량이 산정된 일 수

자료 : 수문(水文) 자료의 공인 및 저장 배포 활용 기준. 2017. 국토교통부고시 제2017-793호(11월 29일 일부 개정) [별표 1] 수문조사보고서(제6조 관련) 마항

▣ 부록 2 : 홍수특보 발령기준

부표 2 | [별표 1] 홍수특보 발령기준(제2조 제3항 관련)

구 분	발 령 기 준
홍 수 주의보	가. 홍수주의보 발령 : 하천의 수위가 계속 상승하여 다음 각 사항에 따른 수위를 고려하여 정한 홍수특보지점의 기준수위(이하 “주의보수위”라 한다)에 가까워지거나 이를 초과할 것이 예상되는 경우 1) 계획홍수량의 100분의 50에 해당하는 유량이 흐를 때의 수위 2) 최근 5년의 평균 저수위로부터 계획홍수위까지 100분의 60에 해당하는 수위 3) 1) 및 2)에 따른 기준을 적용하기 곤란한 경우에는 주변상황 및 제방 정비상태를 고려한 수위 나. 홍수주의보 변경발령 : 홍수경보가 발령된 지점의 수위가 계속 하강하여 경보수위 이하로 내려갈 것이 예상되는 경우
홍 수 경 보	가. 홍수경보 발령 : 하천의 수위가 계속 상승하여 다음 각 사항에 따른 수위를 고려하여 정한 홍수특보지점의 기준수위(이하 "경보수위"라 한다)에 가까워지거나 이를 초과할 것이 예상되는 경우 1) 계획홍수량의 100분의 70에 해당하는 유량이 흐를 때의 수위 2) 최근 5년의 평균 저수위로부터 계획홍수위까지 100분의 80에 해당하는 수위 3) 1) 및 2)에 따른 기준을 적용하기 곤란한 경우에는 주변상황 및 제방 정비상태를 고려한 수위 나. 홍수경보 변경발령 : 홍수주의보가 발령된 지점의 수위가 주의보수위를 넘어 계속 상승하여 경보수위에 가까워지거나 이를 초과할 것이 예상되는 경우
해 제	가. 홍수주의보 해제 : 홍수주의보가 발령된 지점의 수위가 계속 하강하여 주의보수위 이하로 내려갈 것이 예상되는 경우 나. 홍수경보 해제 : 홍수경보가 발령된 지점의 수위가 계속 하강하여 주의보수위 이하로 내려갈 것이 예상되는 경우

자료 : 수자원의 조사계획 및 관리에 관한 법률 시행규칙. 2018. 환경부령 제764호(6월 8일 타 법 개정) 제2조 제3항

1. 계획홍수량 및 계획홍수위는 각각 하천법 시행령 제24조 제2항 제6호 나목 및 다목에 따른 계획홍수량 및 계획홍수위를 말한다.
2. 홍수특보지점 상류의 유역면적이 1,100제곱미터 이하인 경우에는 제1호·제2호에도 불구하고, 수위가 급격히 상승할 우려가 있는 등 급박한 상황인 경우에는 홍수주의보의 발령 없이 바로 홍수경보를 발령하고, 수위가 계속 하강하여 주의보수위 이하로 내려갔을 경우 또는 홍수피해의 우려가 없다고 인정되는 경우에는 홍수경보를 해제한다.

▣ 부록 3 : 갈수예보 기준

부표 3 | [별표 2] 갈수예보 기준(제3조 제1항 관련)

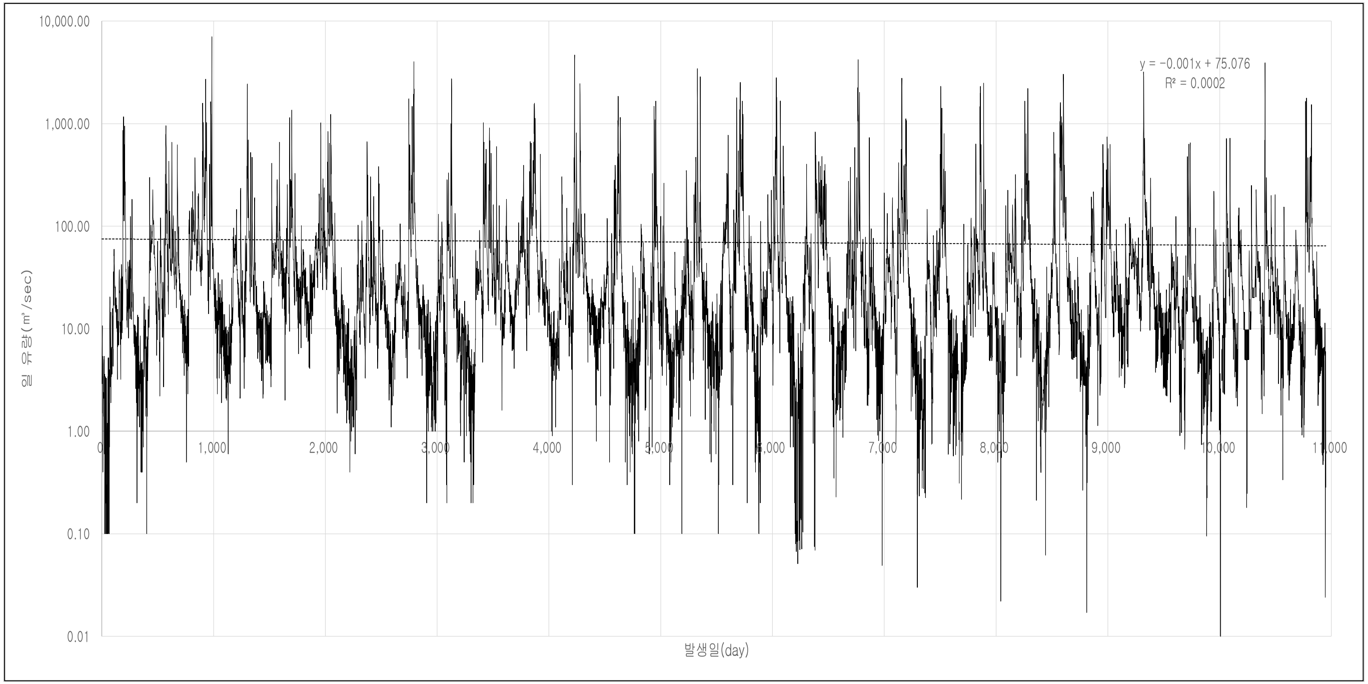
단계	실 시 기 준	설 정 기 준
관심	• 특정지역에 갈수 발생의 징후가 감지되는 경우로서 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 경우 가. 갈수예보지점의 수문량이 계속 감소하여 관심단계 설정기준에 도달하거나 이를 하회할 경우 나. 주의단계가 발령된 갈수예보지점의 수문량이 계속 증가하여 관심단계 설정기준에 도달하거나 상회할 경우	• 갈수예보 지점의 계획수문량에 조정계수를 곱한 값 또는 이에 상당하는 지수
주의	• 특정지역이 갈수피해를 대비해야 하는 경우로서 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 경우 가. 관심단계가 발령된 갈수예보지점의 수문량이 계속 감소하여 주의단계 설정기준에 도달하거나 이를 하회할 경우 나. 경계단계가 발령된 갈수예보지점의 수문량이 계속 증가하여 주의단계 설정기준에 도달하거나 상회할 경우	• 갈수예보 지점에서 계획수문량의 100분의 80에 조정계수를 곱한 값 또는 이에 상당하는 지수
경계	• 특정지역이 갈수피해 대비를 강화해야 하는 경우로서 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 경우 가. 주의단계가 발령된 갈수예보지점의 수문량이 계속 감소하여 경계단계 설정기준에 도달하거나 이를 하회할 경우 나. 심각단계가 발령된 갈수예보지점의 수문량이 계속 증가하여 경계단계 설정기준에 도달하거나 상회할 경우	• 갈수예보 지점에서 계획수문량의 100분의 50에 조정계수를 곱한 값 또는 이에 상당하는 지수
심각	• 갈수의 전개 규모와 범위가 매우 심각한 수준으로 확산되어 위기발생이 확실한 경우로서 경계단계가 발령된 갈수예보지점의 수문량이 계속 감소하여 심각단계 설정기준에 도달하거나 이를 하회할 경우	• 갈수예보 지점에서 계획수문량의 100분의 30에 조정계수를 곱한 값 또는 이에 상당하는 지수

자료 : 수자원의 조사계획 및 관리에 관한 법률 시행규칙. 2018. 환경부령 제764호(6월 8일 타 법 개정) 제3조 제1항

1. 계획수문량이란 하천, 댐 등 수자원시설을 정상적으로 관리하기 위한 시기별 최소 양을 말한다.
2. 조정계수란 유역면적, 하상경사 등을 반영한 특성인자로서 지점의 주변상황 및 수자원시설의 안전 등을 고려한 조정값을 말한다.
3. 지수란 갈수에 영향을 미치는 강수량, 하천 유량, 저수량, 토양수분량 등 여러 인자를 고려하여 갈수예보지점별로 산정한 값을 말한다.
4. 관심단계가 발령된 갈수예보지점의 수문량이 증가하여 관심단계 설정기준 이상으로 올라가거나 상회할 경우 또는 갈수예보(주의·경계·심각) 단계가 발령되었으나 강수 등으로 인한 수문량 증가로 갈수피해 우려가 없다고 인정되는 경우에는 갈수예보를 해제한다.

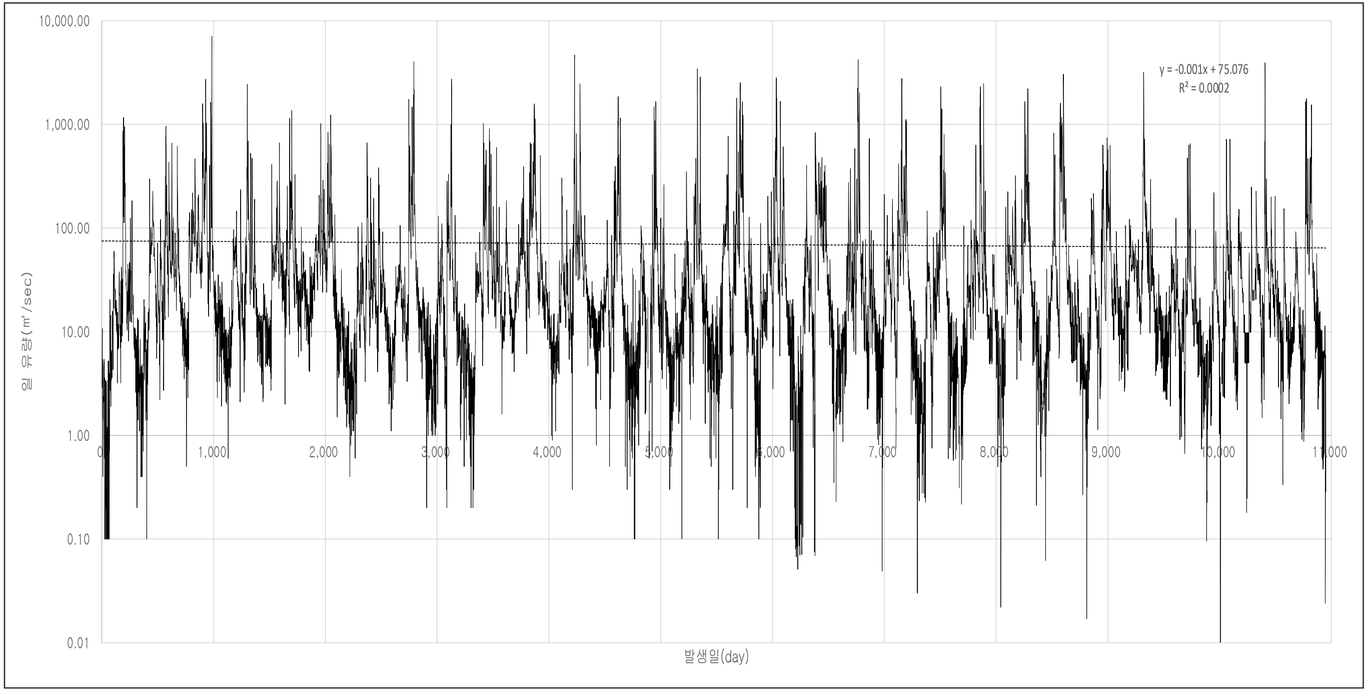
▣ 부록 4 : 분석지점의 전기간 일유량 변동경향

부도 1 | 분석지점의 전기간 일유량 변동경향(한강 소양강댐)



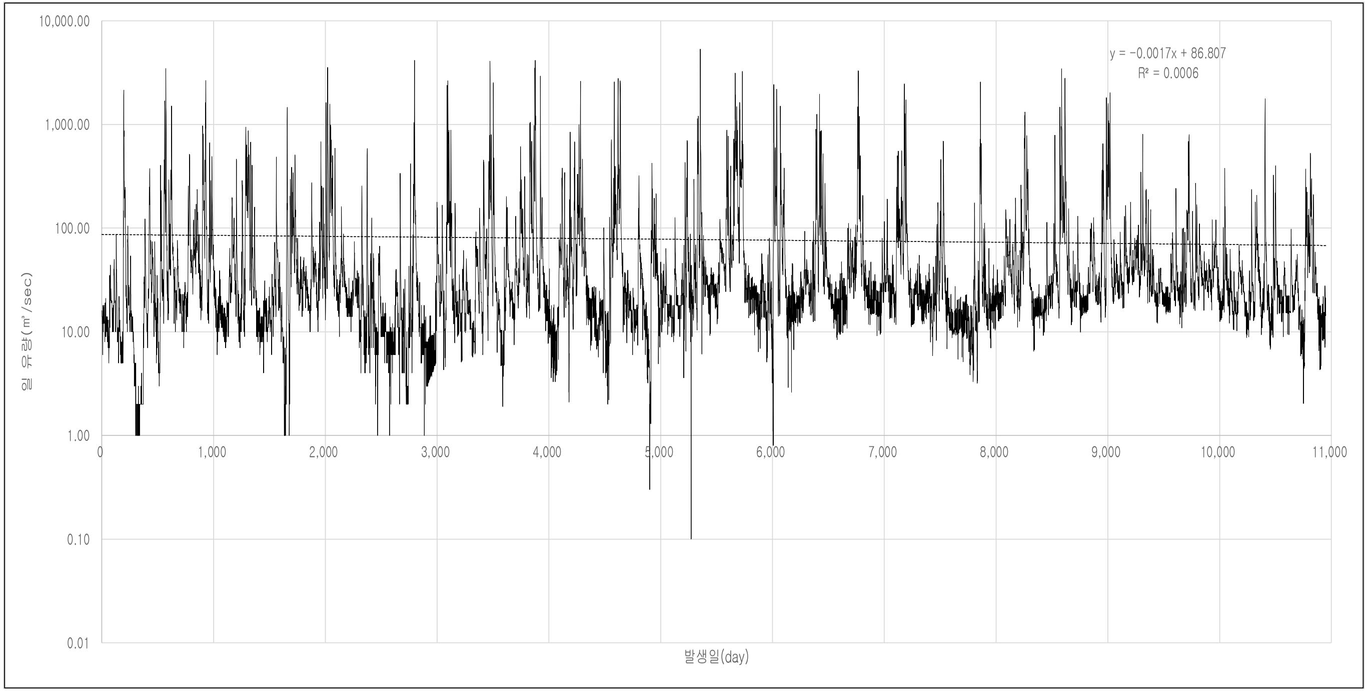
주 : 일유량의 대수화로 미소유량 및 영유량은 표시되지 않았음(소양강댐, 안동댐, 대청댐, 섬진강댐)
자료 : 저자 작성

부도 2 | 분석지점의 전기간 일유량 변동경향(낙동강 안동댐)



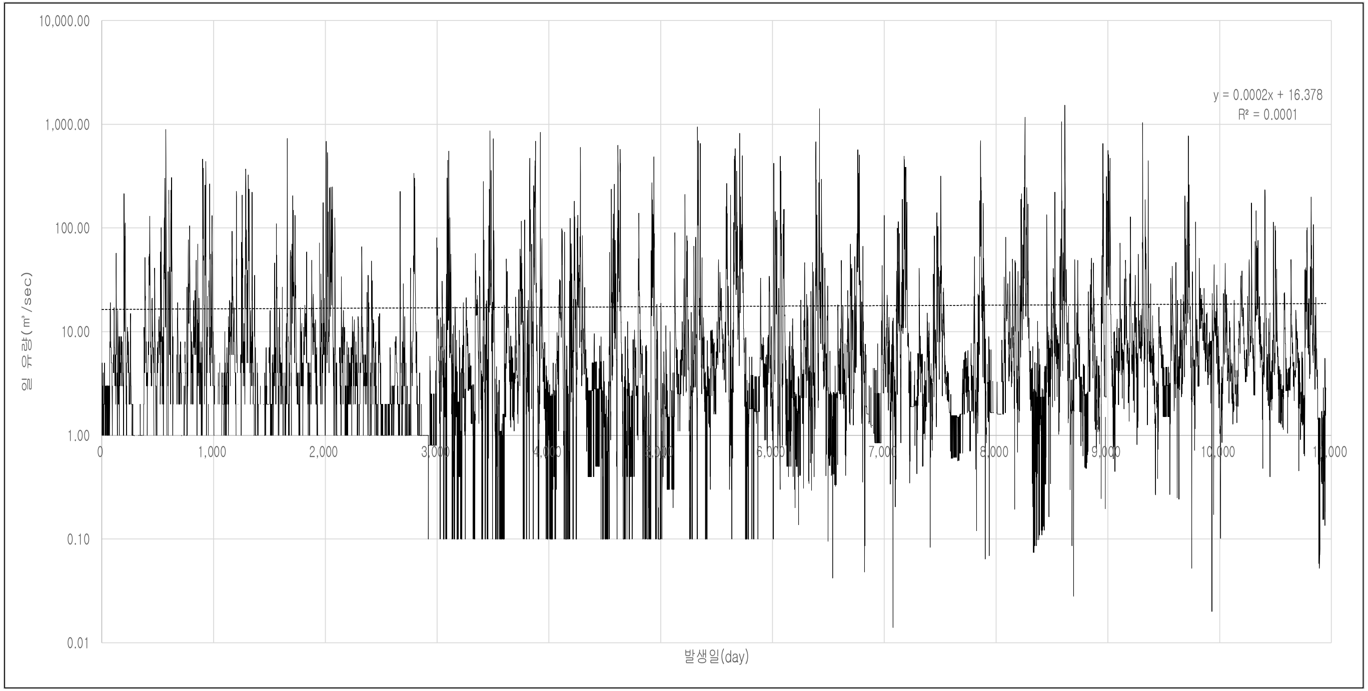
자료 : 저자 작성

부도 3 | 분석지점의 전기간 일유량 변동경향(금강 대청댐)



자료 : 저자 작성

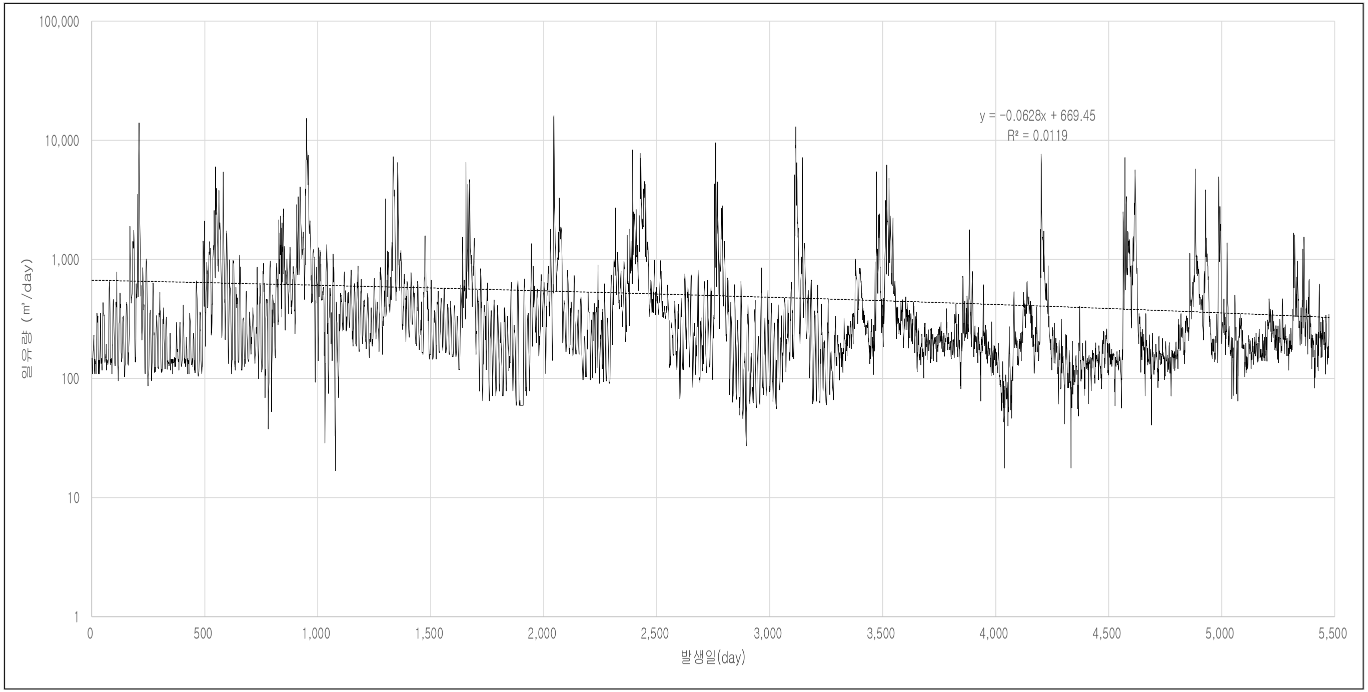
부도 4 | 분석지점의 전기간 일유량 변동경향(섬진강 섬진강댐)



자료 : 저자 작성

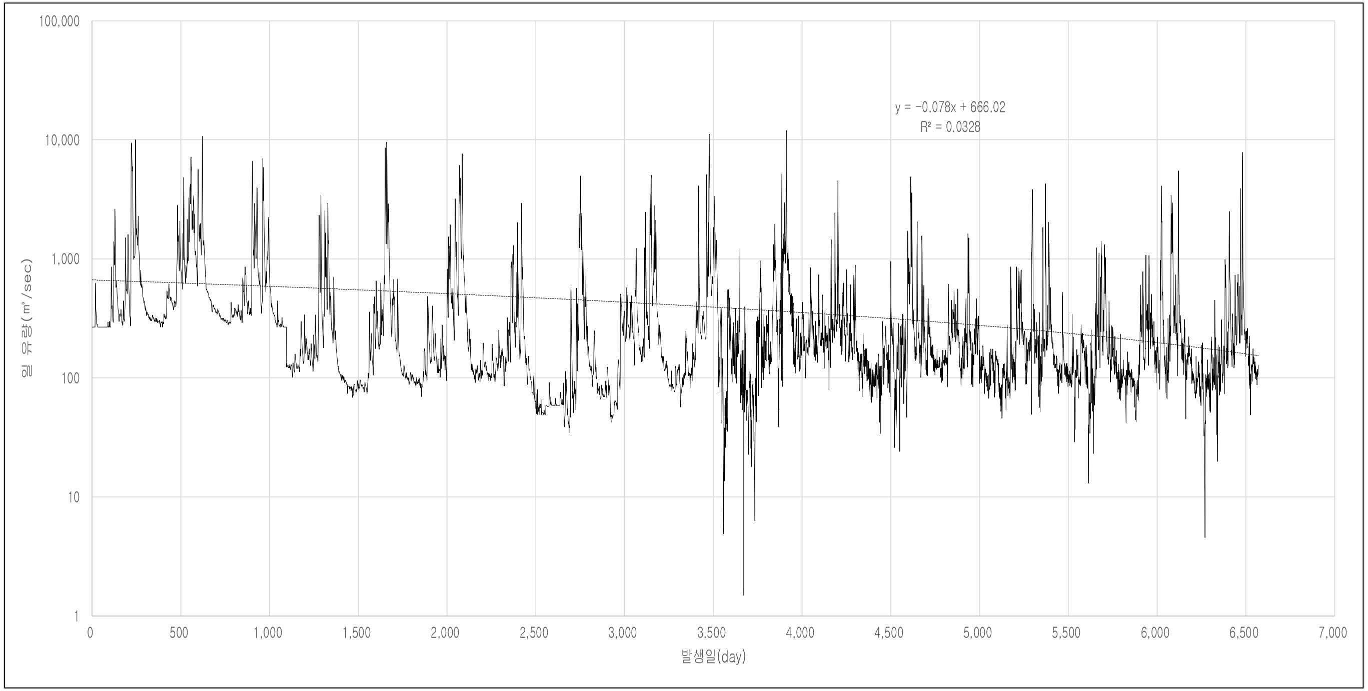
▣ 부록 5 : 적용지점의 전기간 일유량 변동경향

부도 5 | 적용지점의 전기간 일유량 변동경향(한강 한강대교)



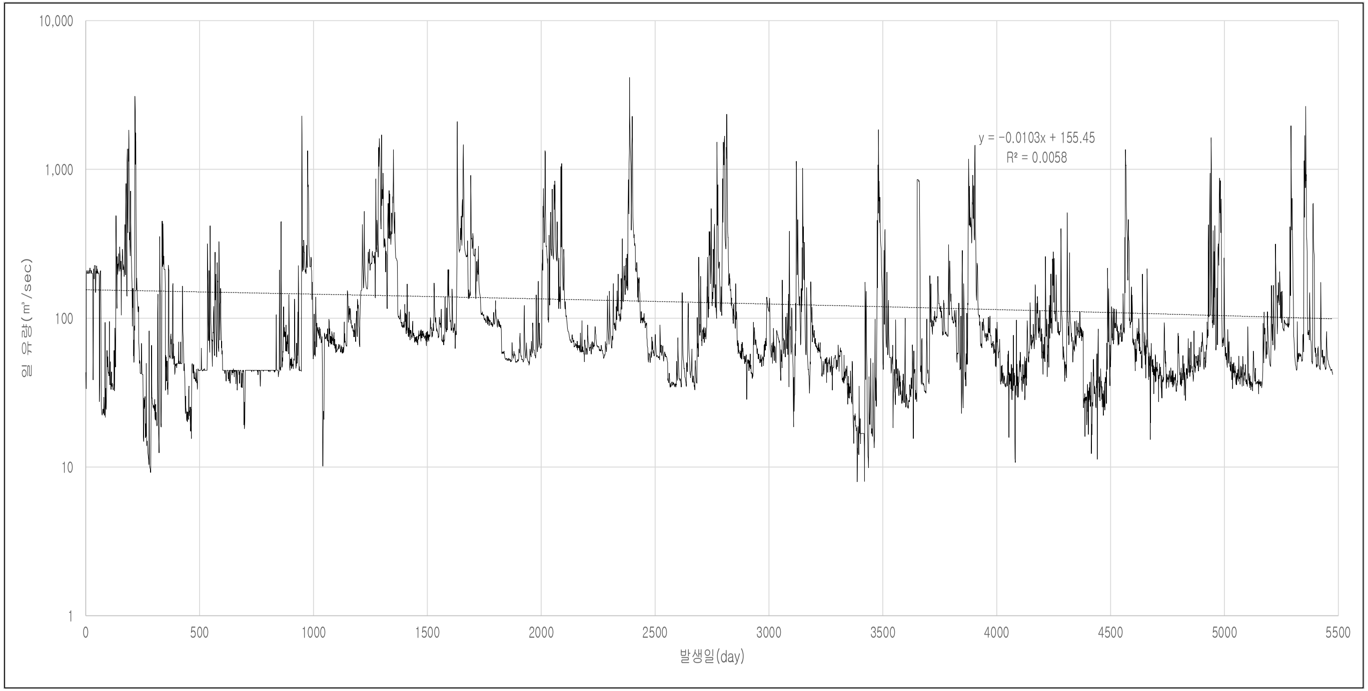
자료 : 저자 작성

부도 6 | 적용지점의 전기간 일유량 변동경향(낙동강 진동)



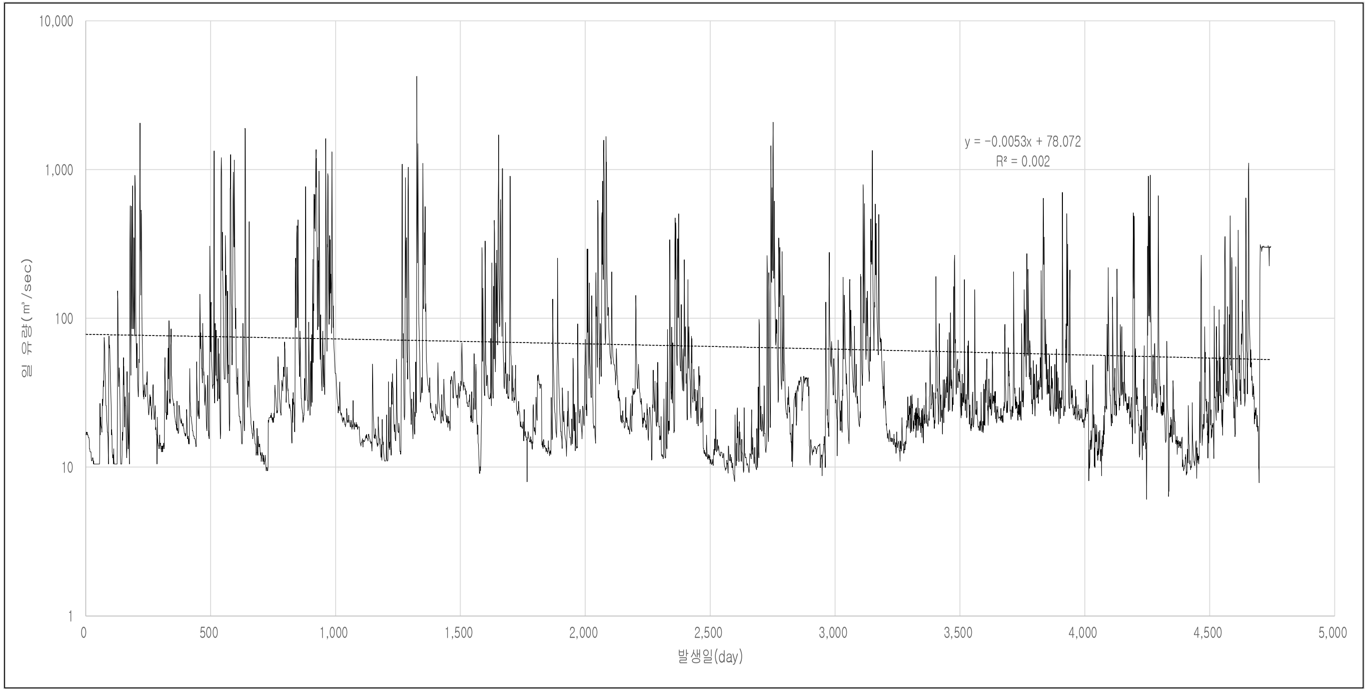
자료 : 저자 작성

부도 7 | 적용지점의 전기간 일유량 변동경향(금강 금강교)



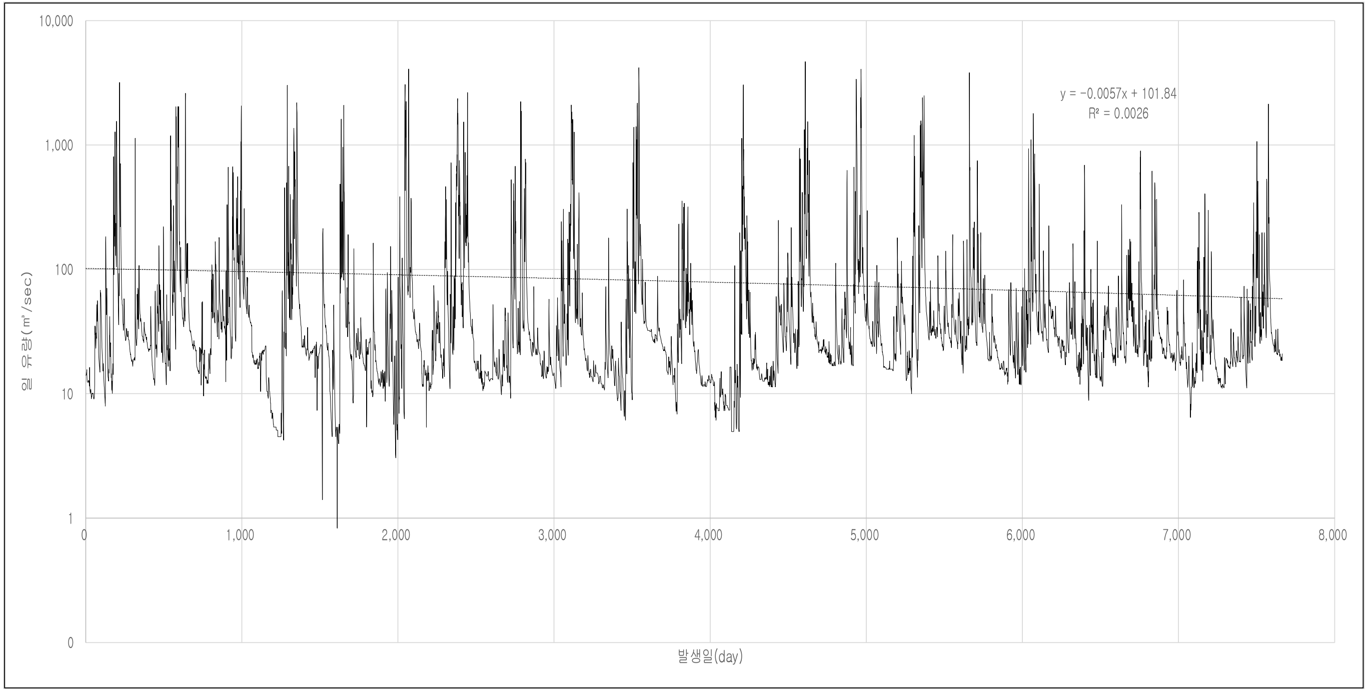
자료 : 저자 작성

부도 8 | 적용지점의 전기간 일유량 변동경향(영산강 나주대교)



자료 : 저자 작성

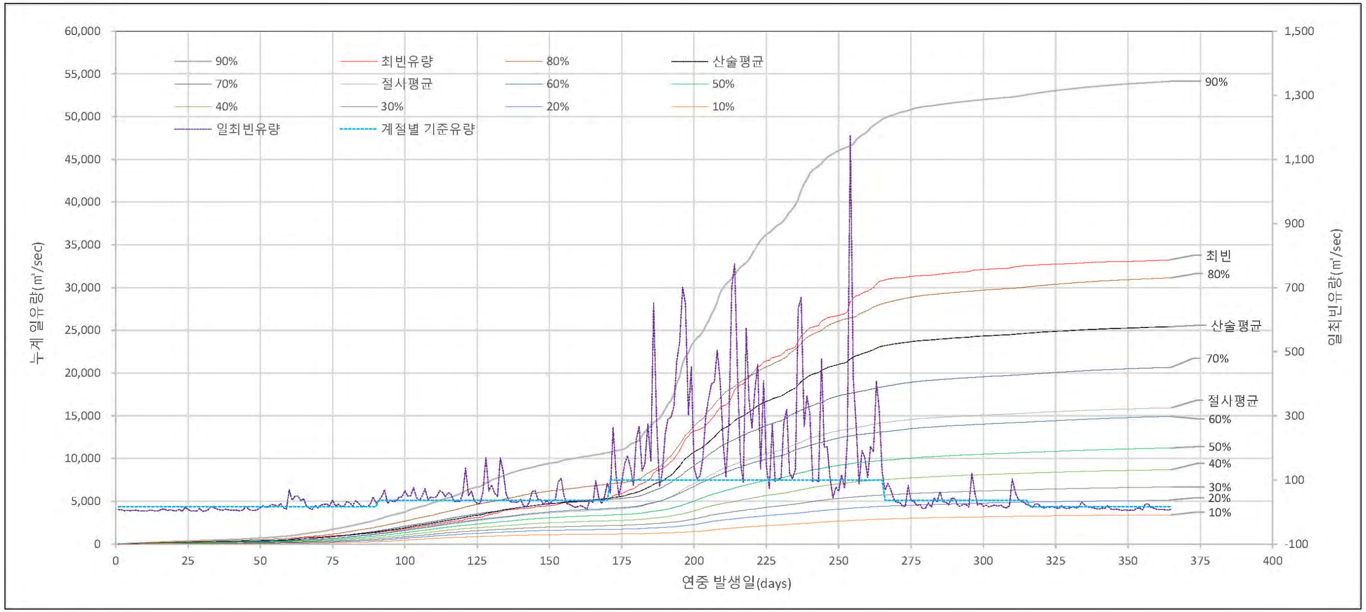
부도 9 | 적용지점의 전기간 일유량 변동경향(섬진강 송정)



자료 : 저자 작성

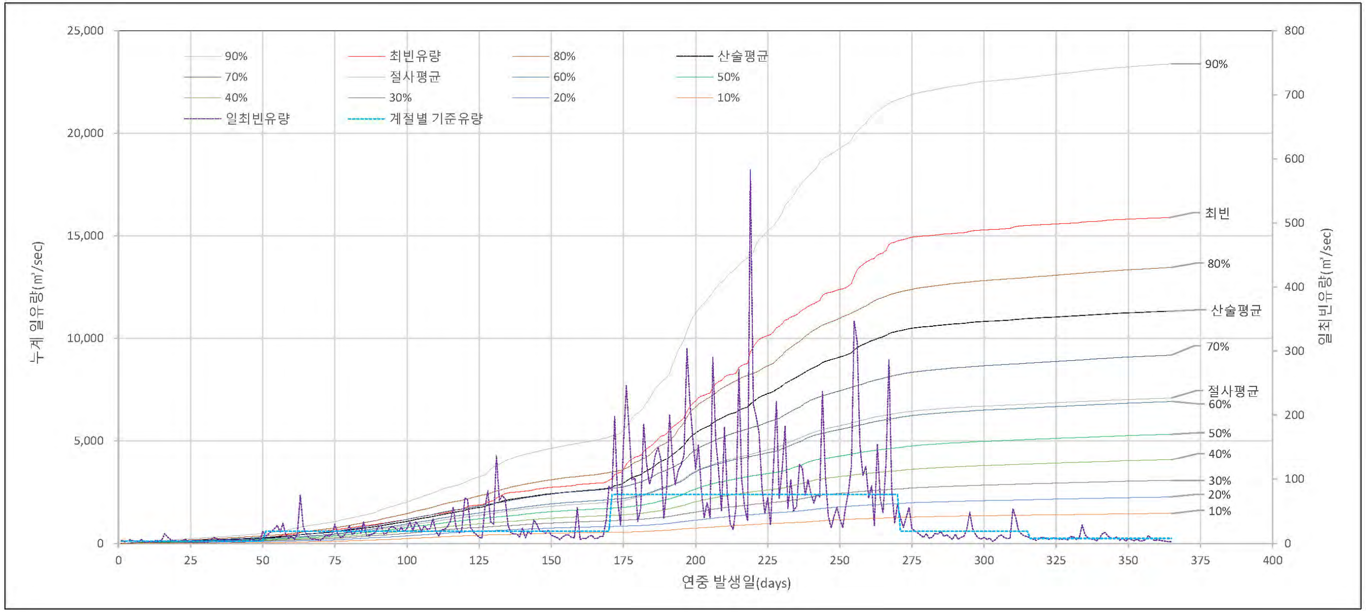
▣ 부록 6 : 분석지점의 분위수별 누계유량

부도 10 | 분석지점의 분위수별 누계유량(한강 소양강댐)



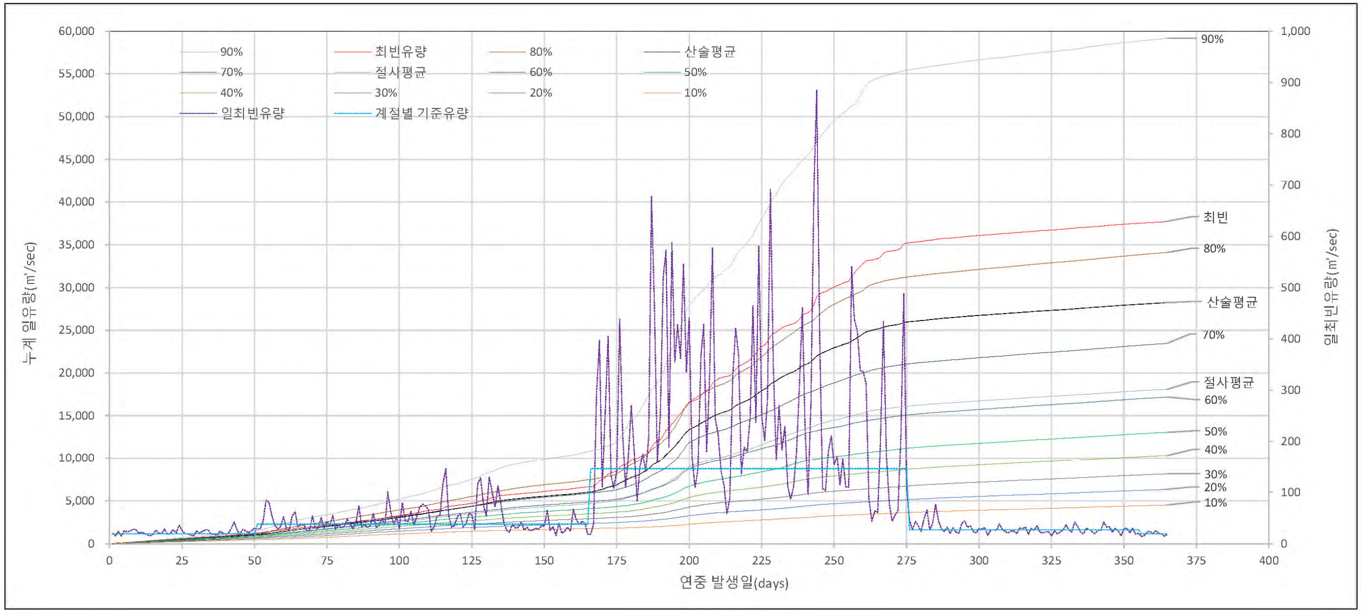
자료 : 저자 작성

부도 11 | 분석지점의 분위수별 누계유량(낙동강 안동댐)



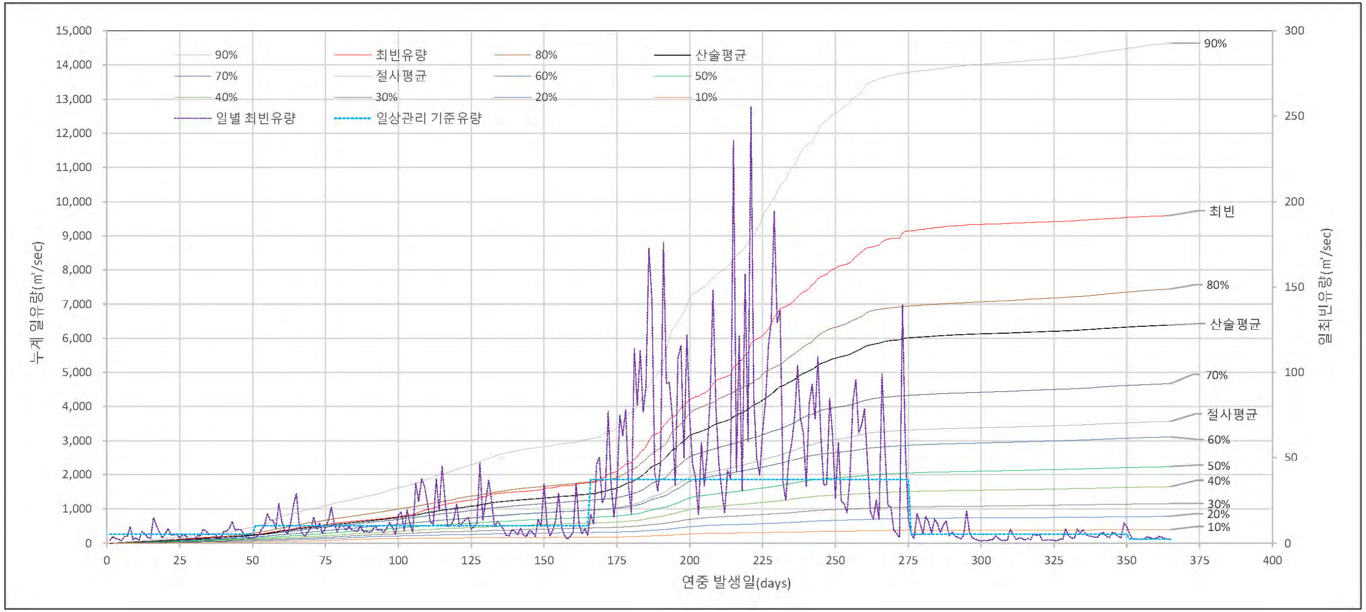
자료 : 저자 작성

부도 12 | 분석지점의 분위수별 누계유량(금강 대청댐)



자료 : 저자 작성

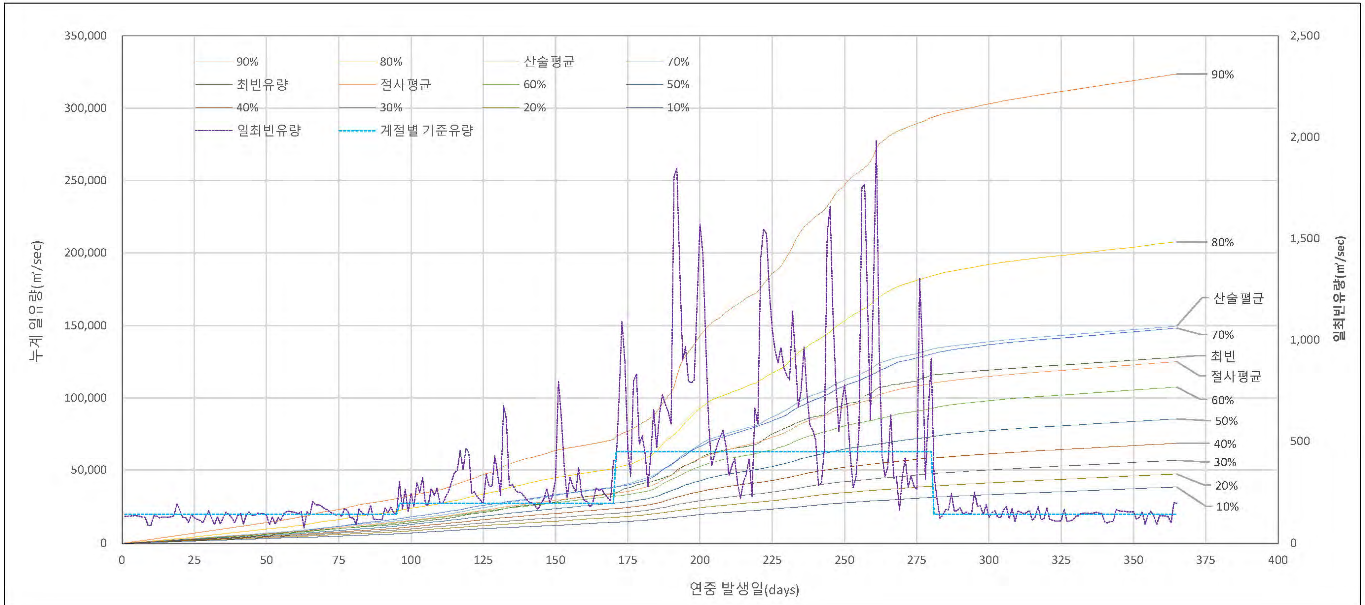
부도 13 | 분석지점의 분위수별 누계유량(섬진강 섬진강댐)



자료 : 저자 작성

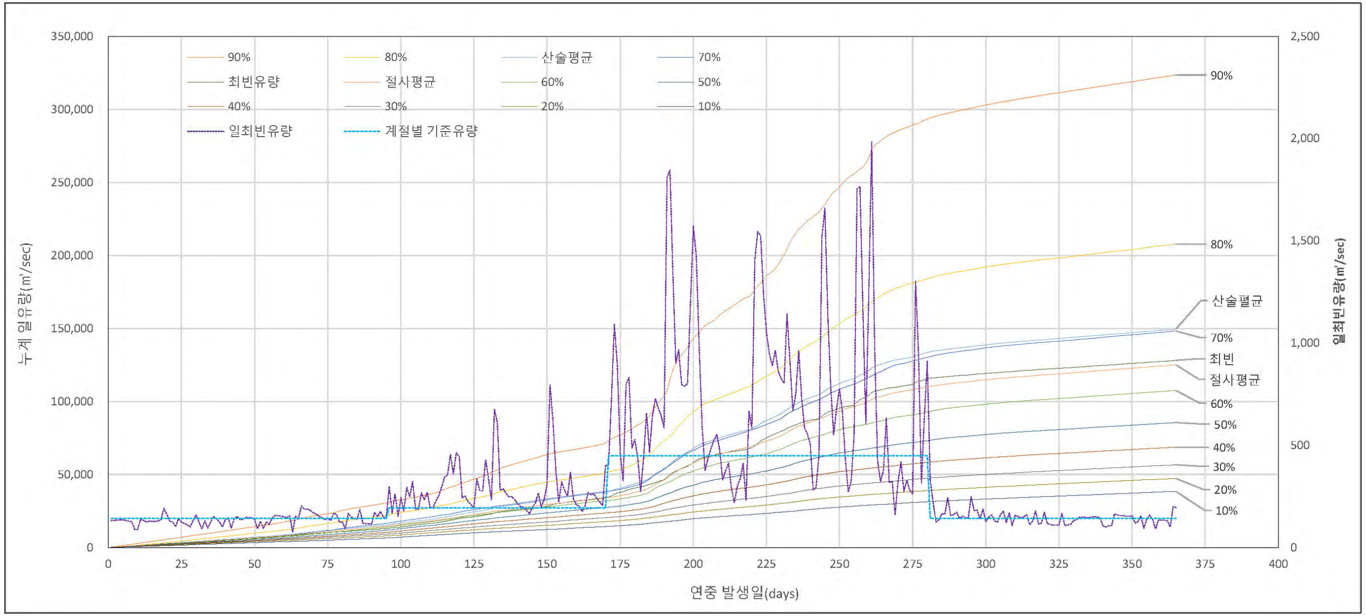
▣ 부록 7 : 적용지점의 분위수별 누계유량

부도 14 | 적용지점의 분위수별 누계유량(한강 한강대교)



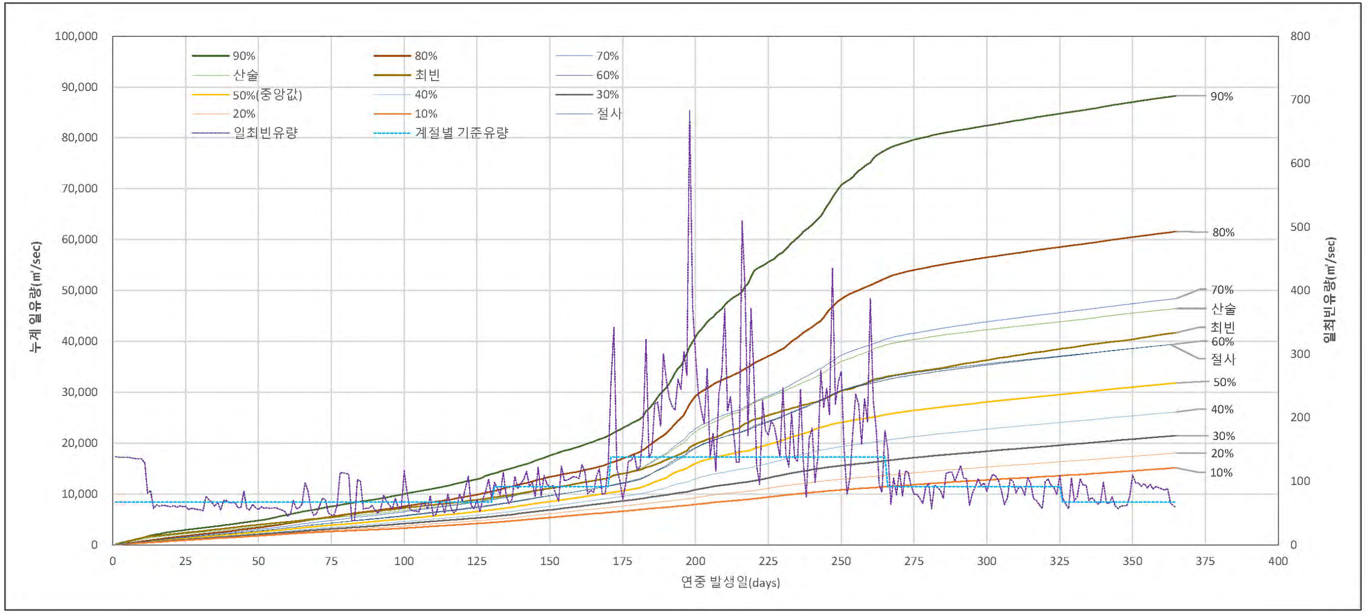
자료 : 저자 작성

부도 15 | 적용지점의 분위수별 누계유량(낙동강 진동)



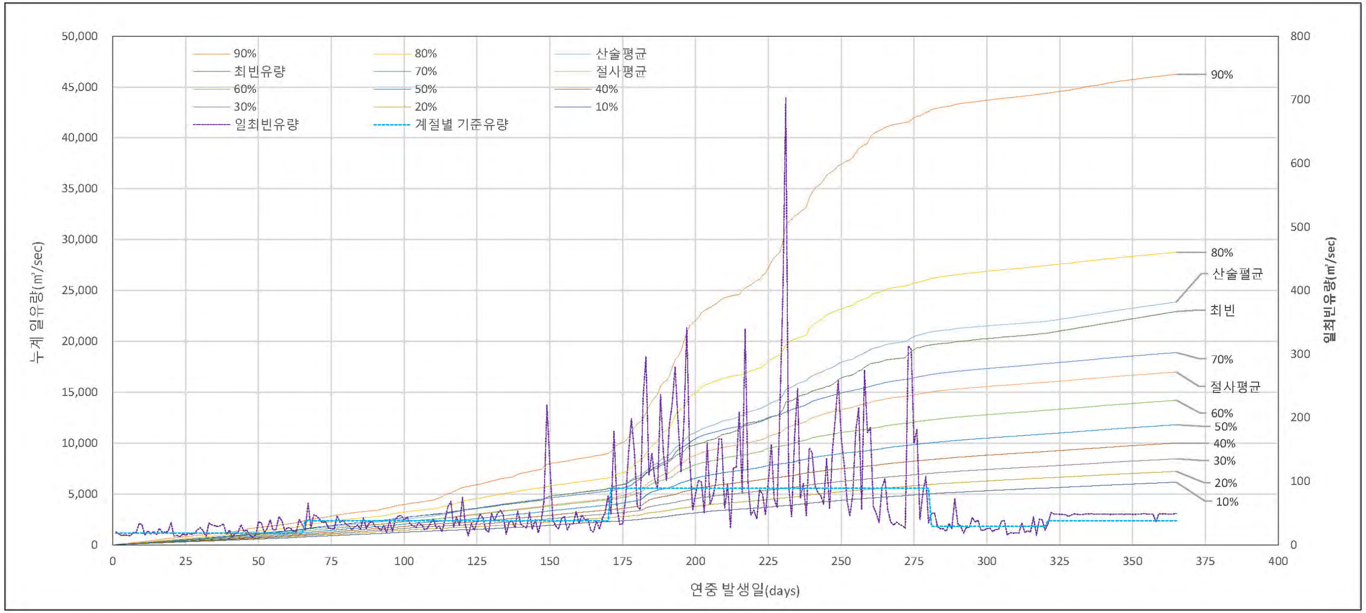
자료 : 저자 작성

부도 16 | 적용지점의 분위수별 누계유량(금강 금강교)



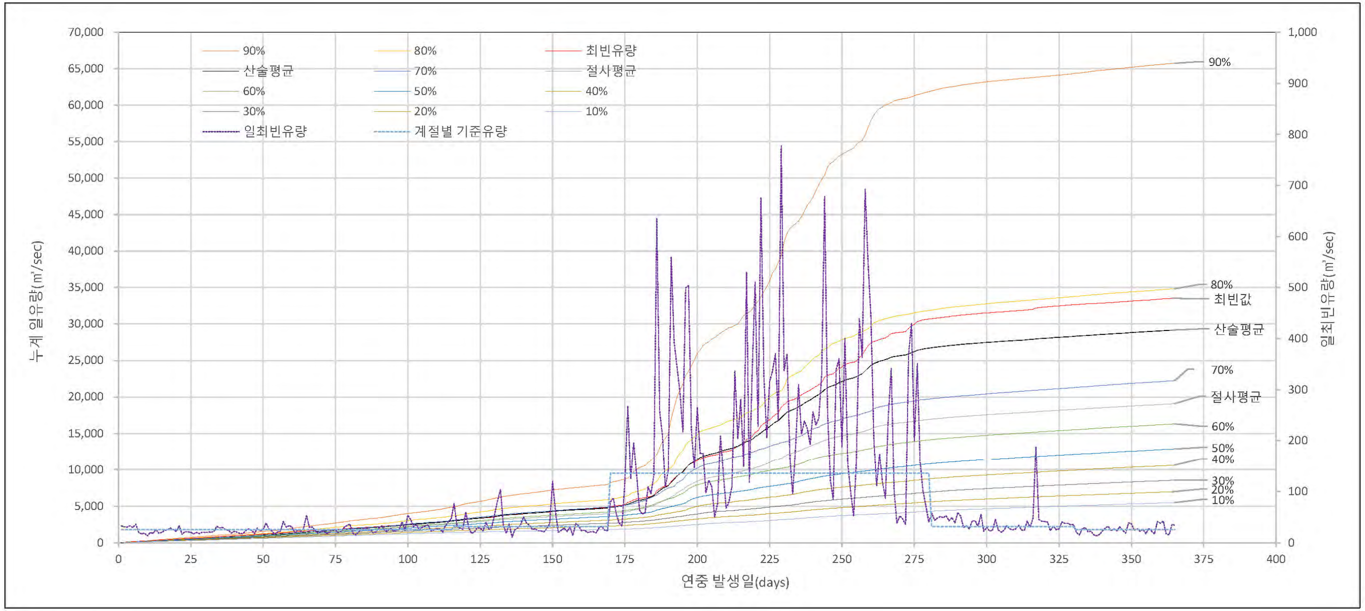
자료 : 저자 작성

부도 17 | 적용지점의 분위수별 누계유량(영산강 나주대교)



자료 : 저자 작성

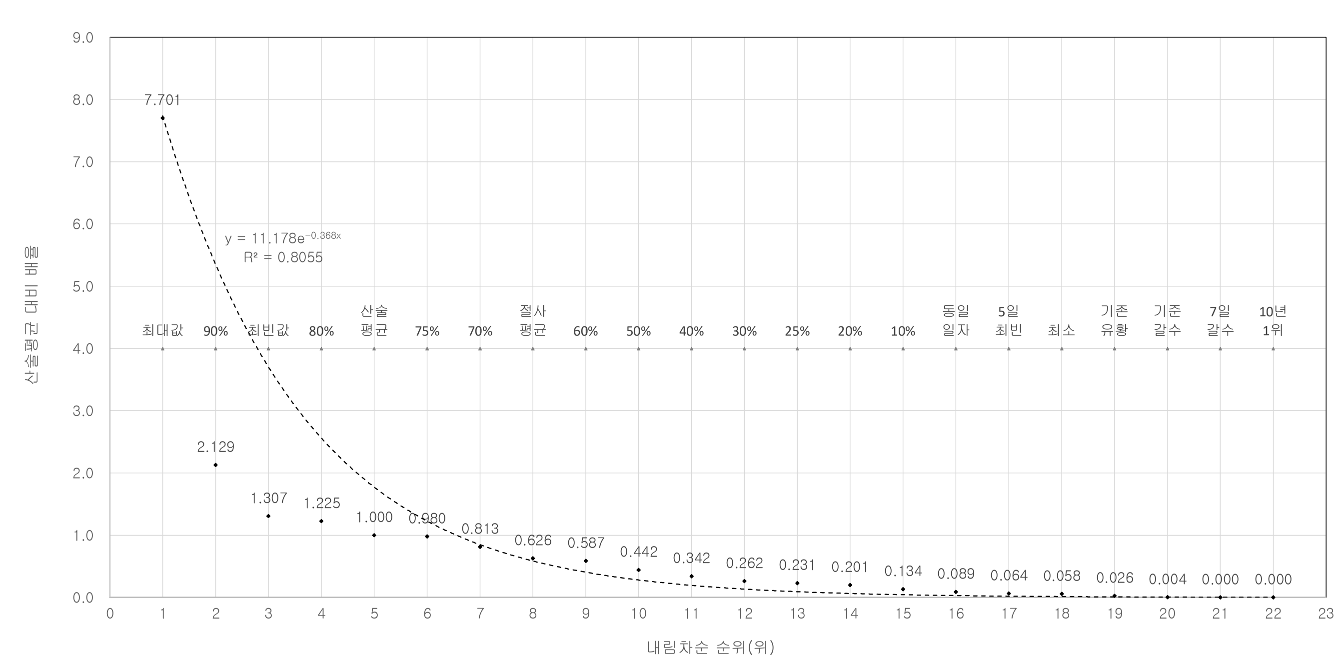
부도 18 | 적용지점의 분위수별 누계유량(섬진강 송정)



자료 : 저자 작성

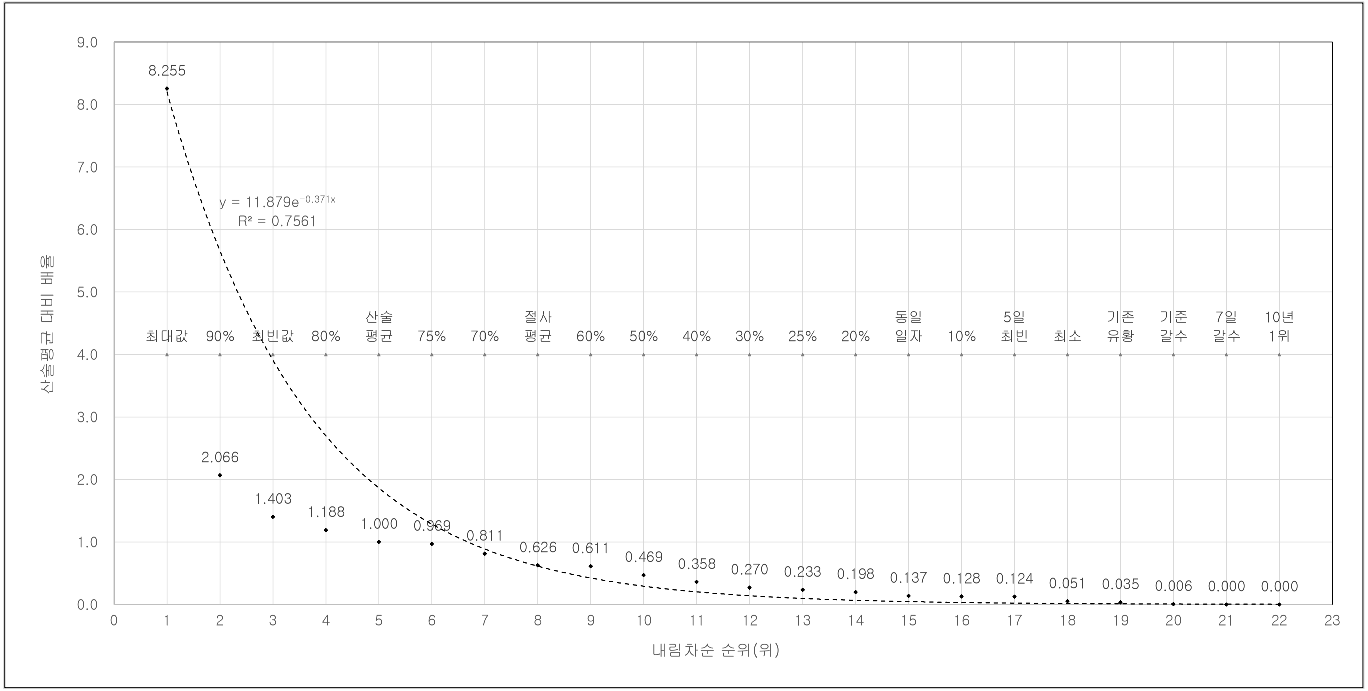
▣ 부록 8 : 분석지점의 일유량별 크기 비교

부도 19 | 분석지점의 일유량별 크기 비교(한강 소양강댐)



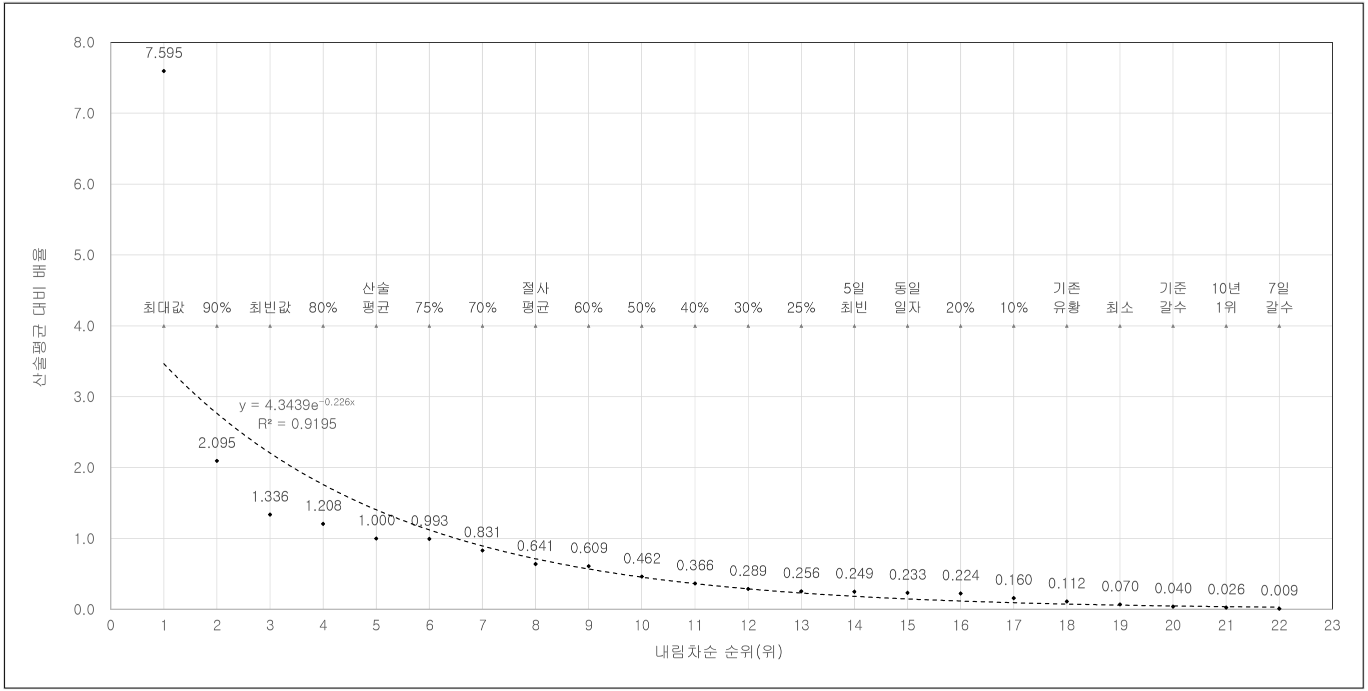
자료 : 저자 작성

부도 20 | 분석지점의 일유량별 크기 비교(낙동강 안동댐)



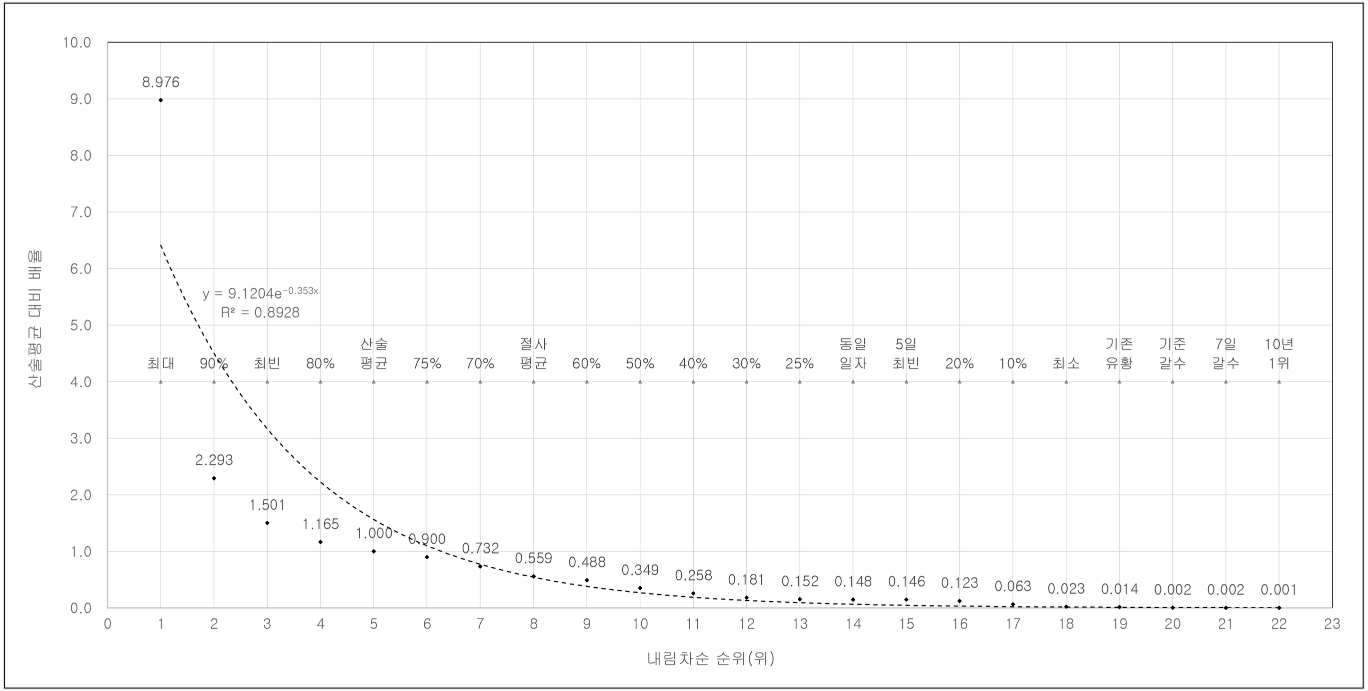
자료 : 저자 작성

부도 21 | 분석지점의 일유량별 크기 비교(금강 대청댐)



자료 : 저자 작성

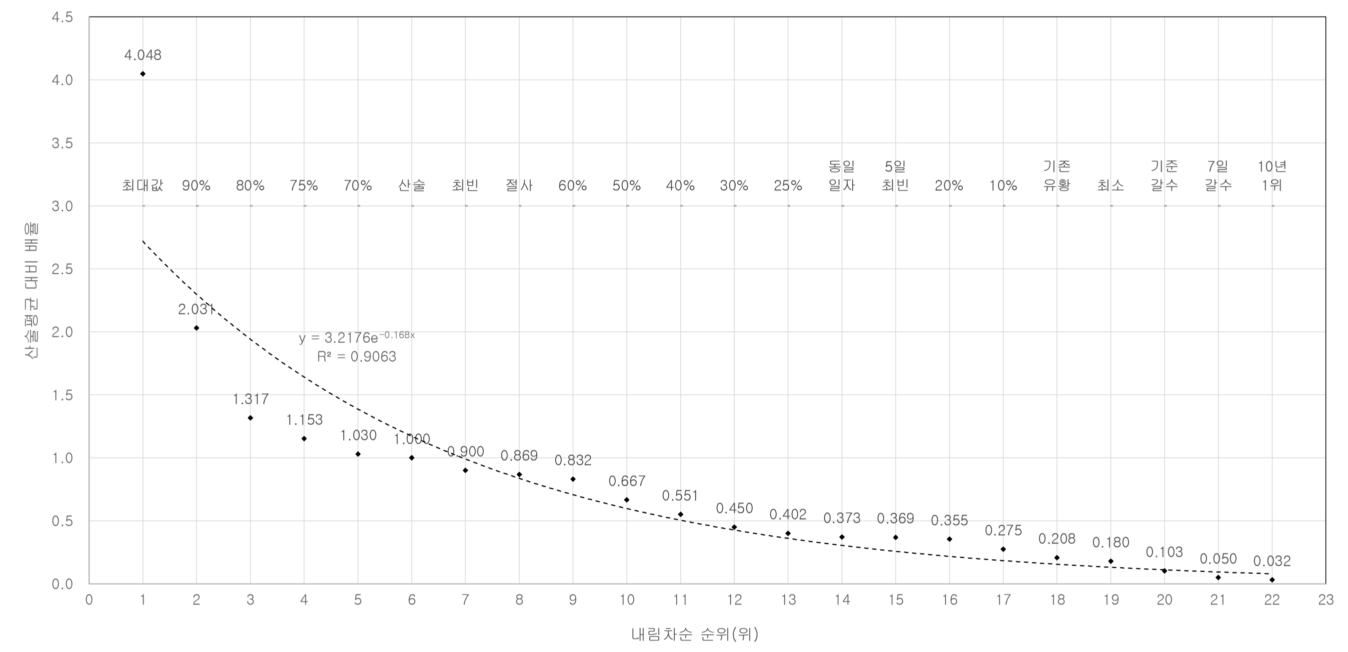
부도 22 | 분석지점의 일유량별 크기 비교(섬진강 섬진강댐)



자료 : 저자 작성

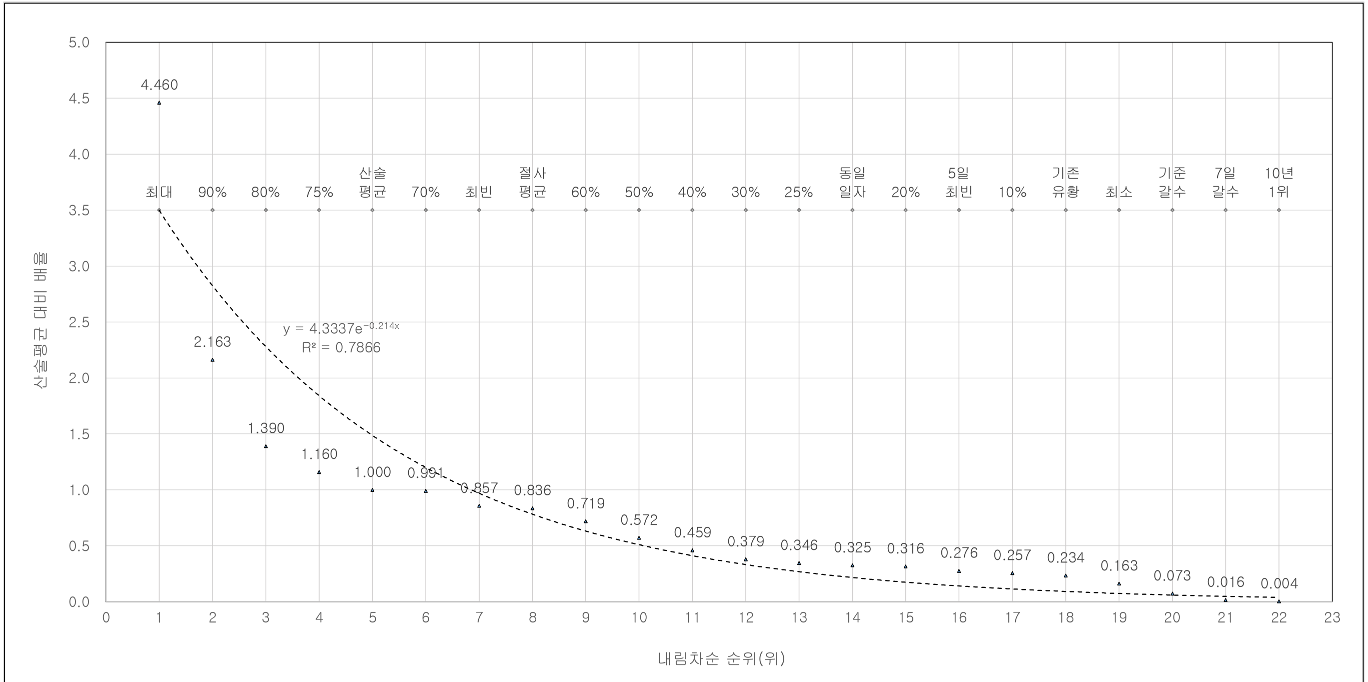
▣ 부록 9 : 적용지점의 일유량별 크기 비교

부도 23 | 적용지점의 일유량별 크기 비교(한강 한강대교)



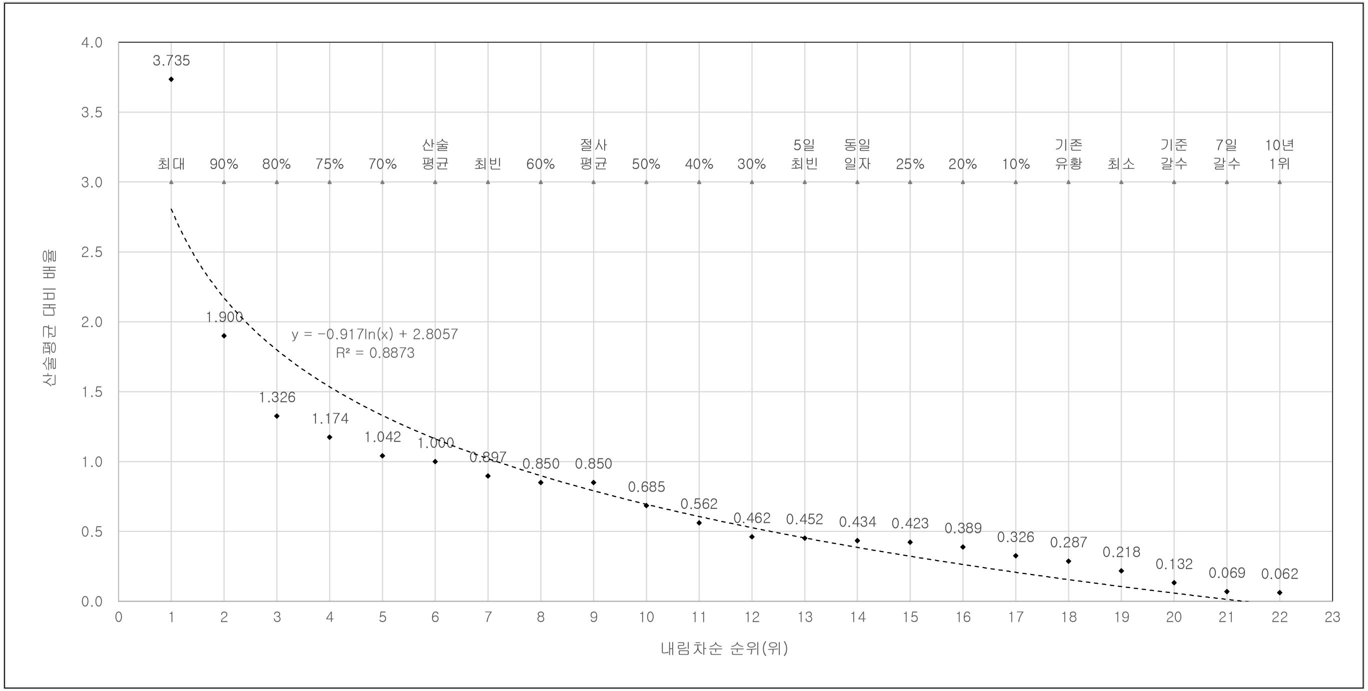
자료 : 저자 작성

부도 24 | 적용지점의 일유량별 크기 비교(낙동강 진동)



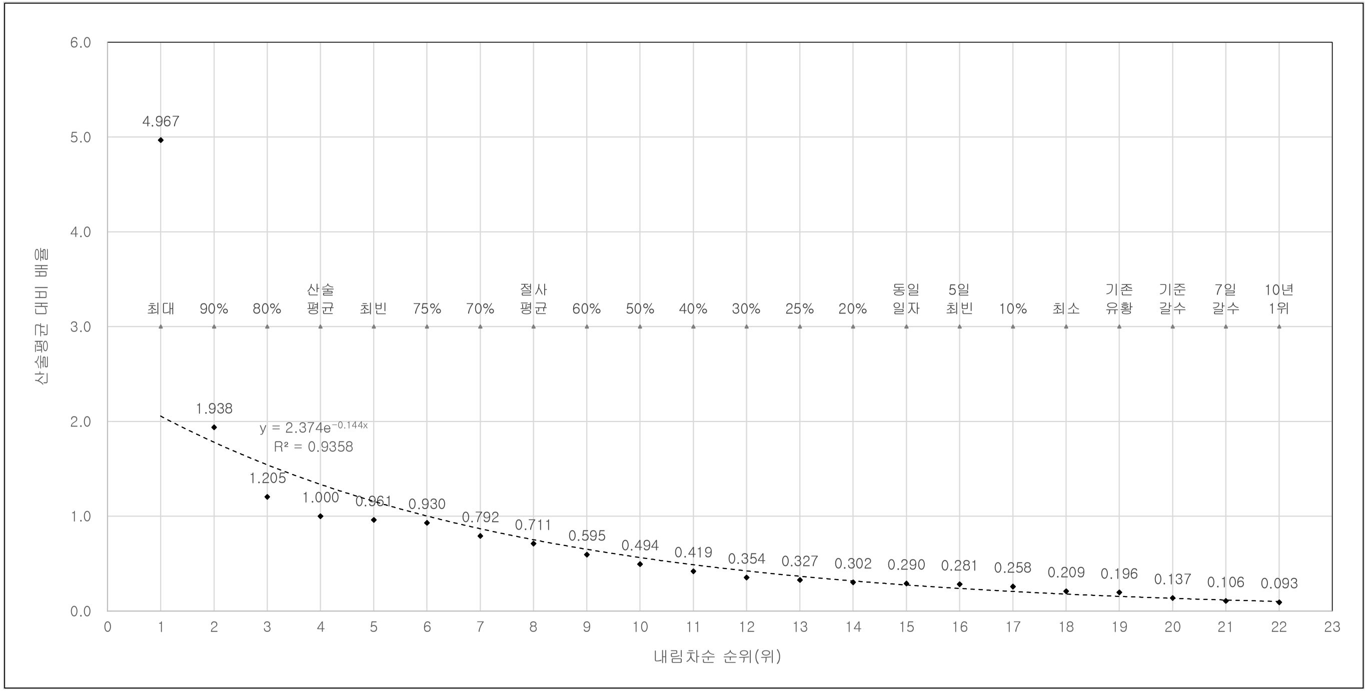
자료 : 저자 작성

부도 25 | 적용지점의 일유량별 크기 비교(금강 금강교)



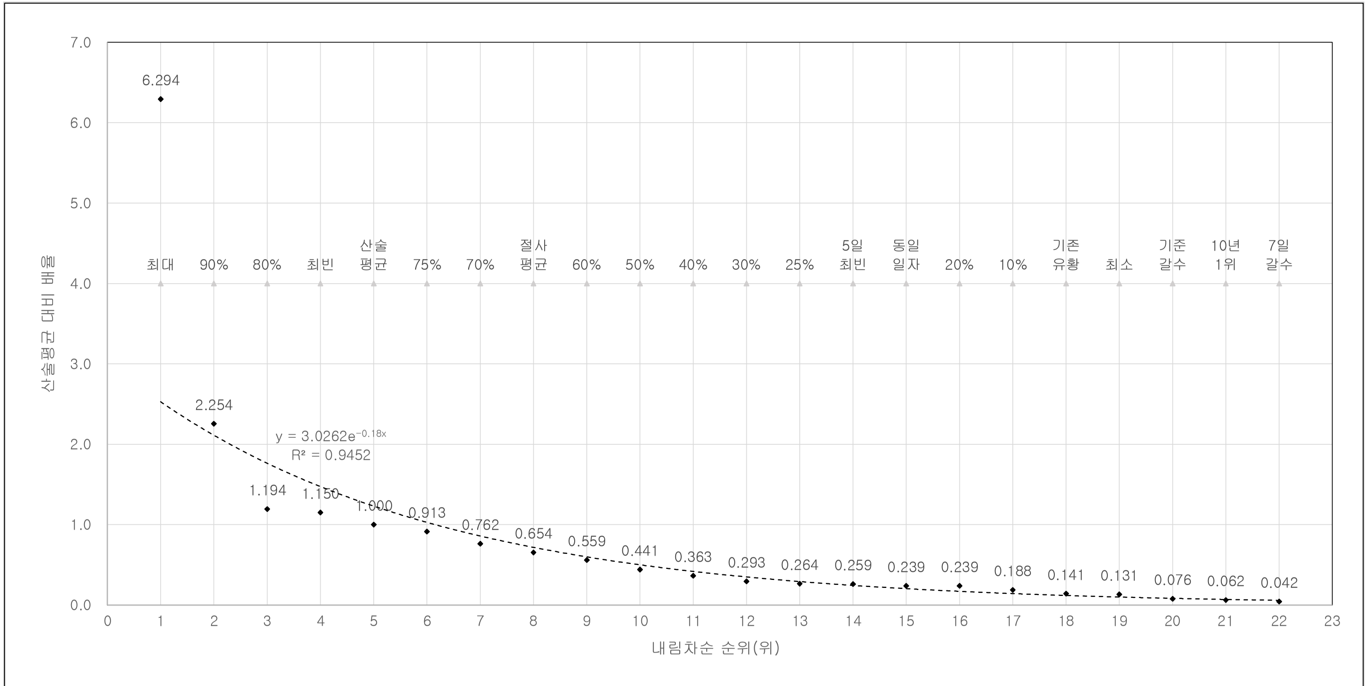
자료 : 저자 작성

부도 26 | 적용지점의 일유량별 크기 비교(영산강 나주대교)



자료 : 저자 작성

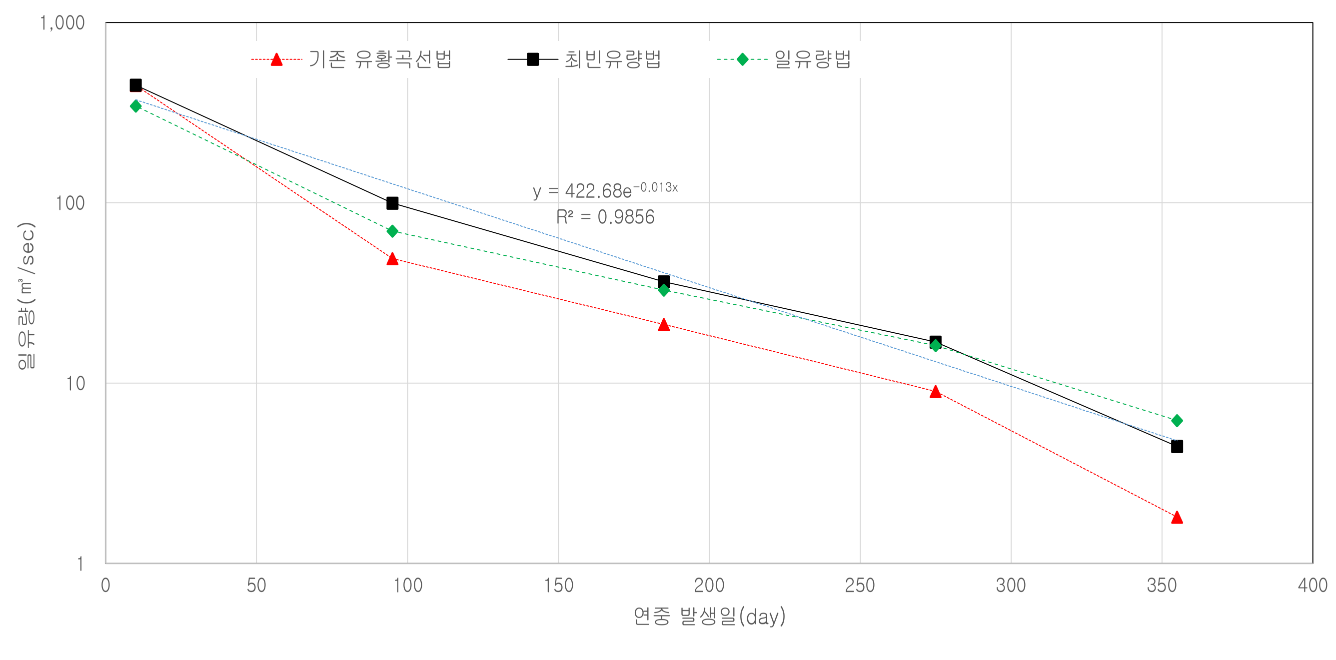
부도 27 | 적용지점의 일유량별 크기 비교(섬진강 송정)



자료 : 저자 작성

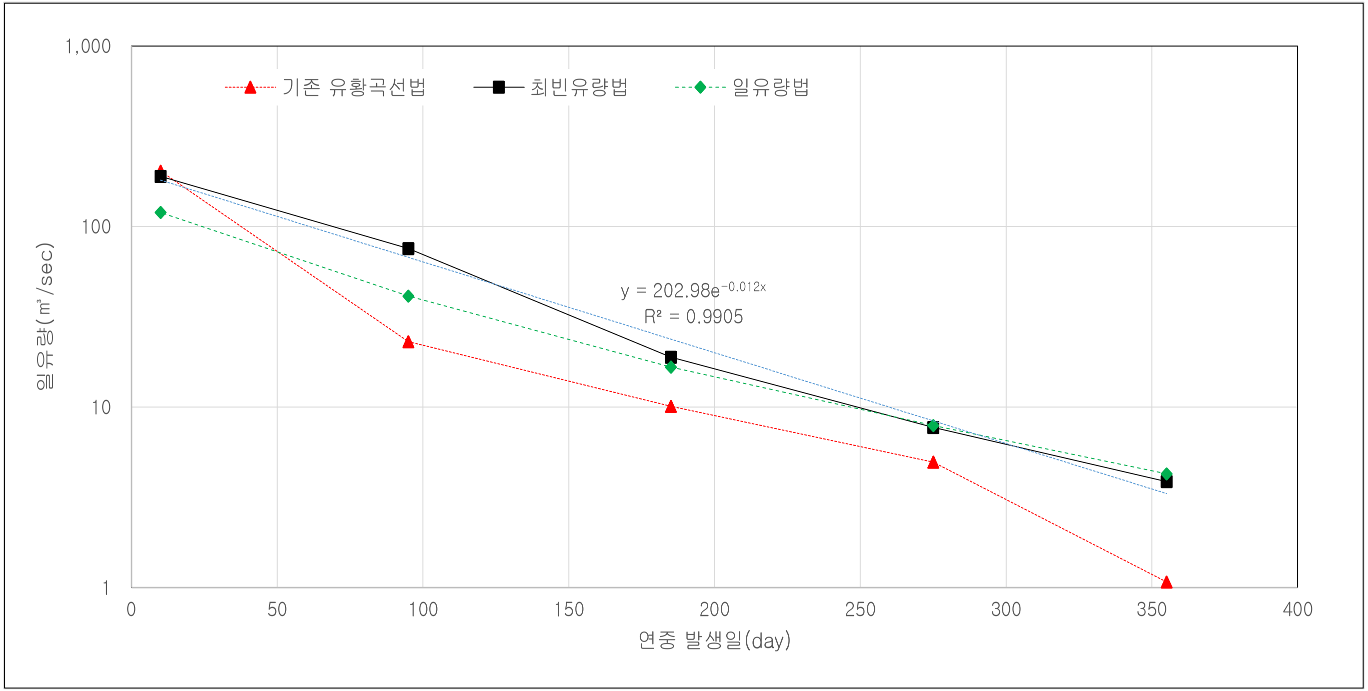
■ 부록 10 : 분석지점의 작성방법별 유황분석 기준유량

부도 28 | 분석지점의 작성방법별 유황분석 기준유량(한강 소양강댐)



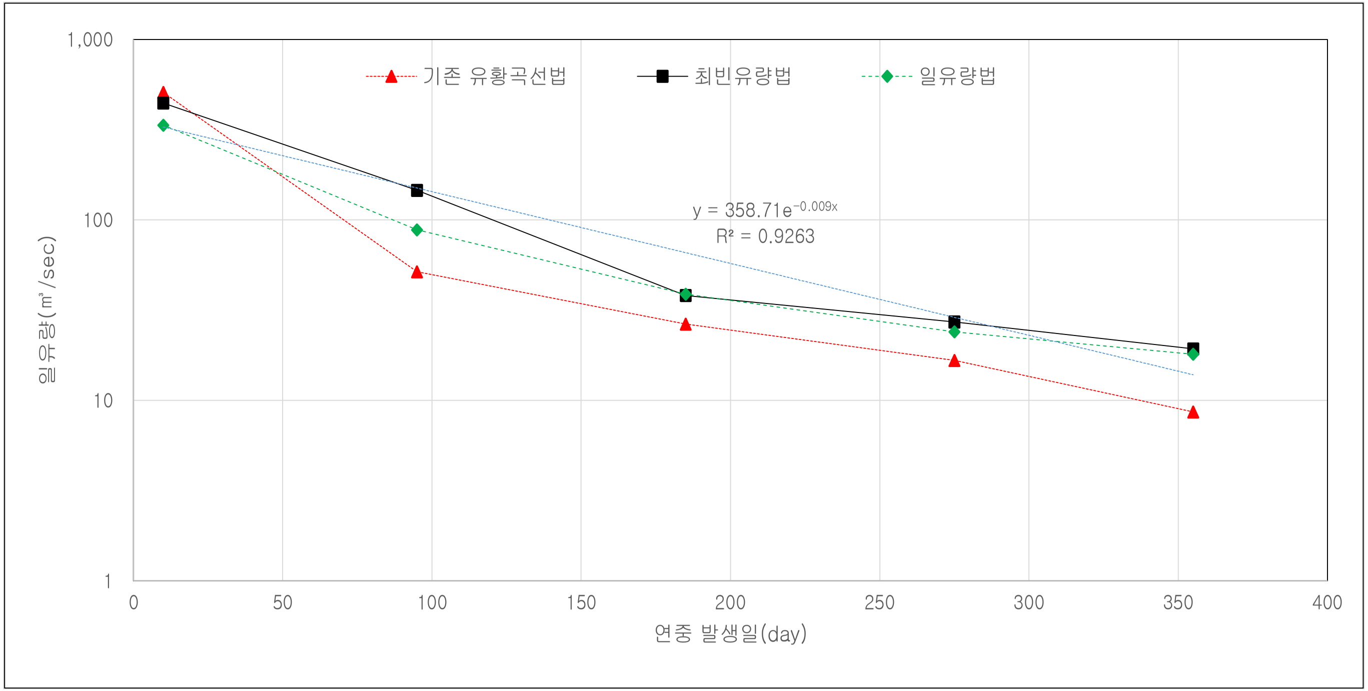
자료 : 저자 작성

부도 29 | 분석지점의 작성방법별 유황분석 기준유량(낙동강 안동댐)



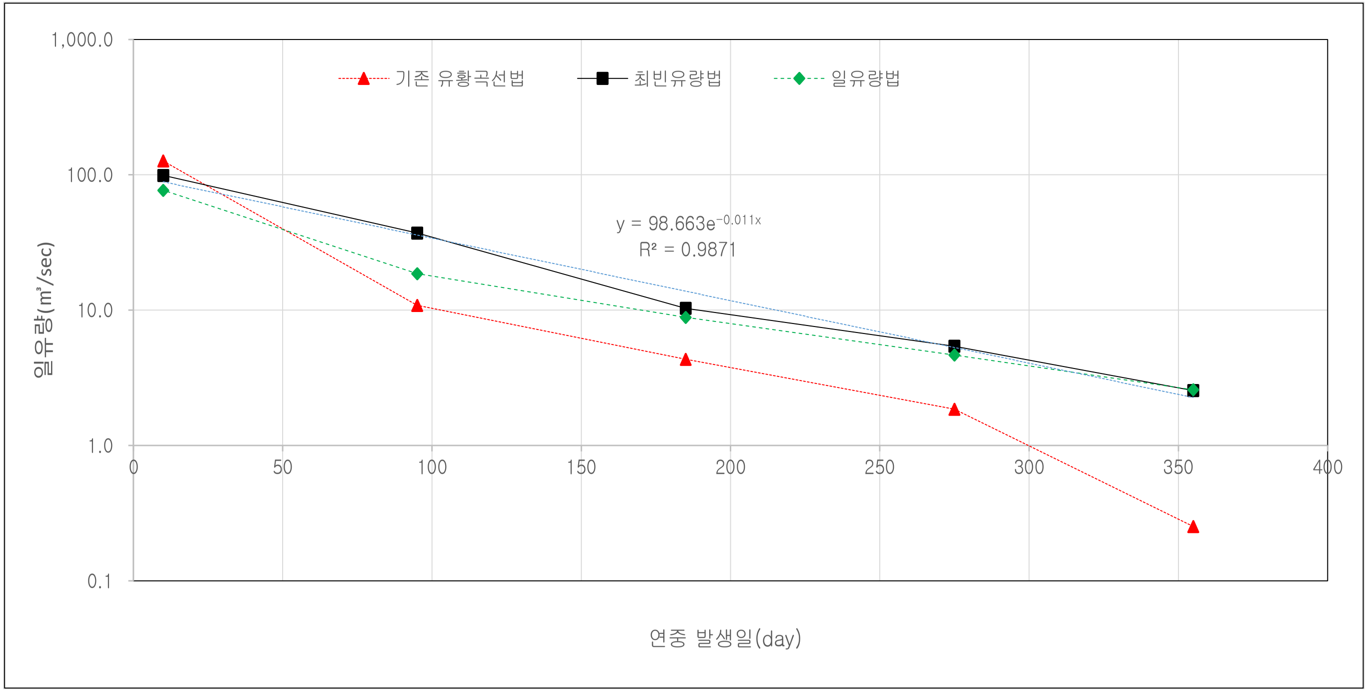
자료 : 저자 작성

부도 30 | 분석지점의 작성방법별 유황분석 기준유량(금강 대청댐)



자료 : 저자 작성

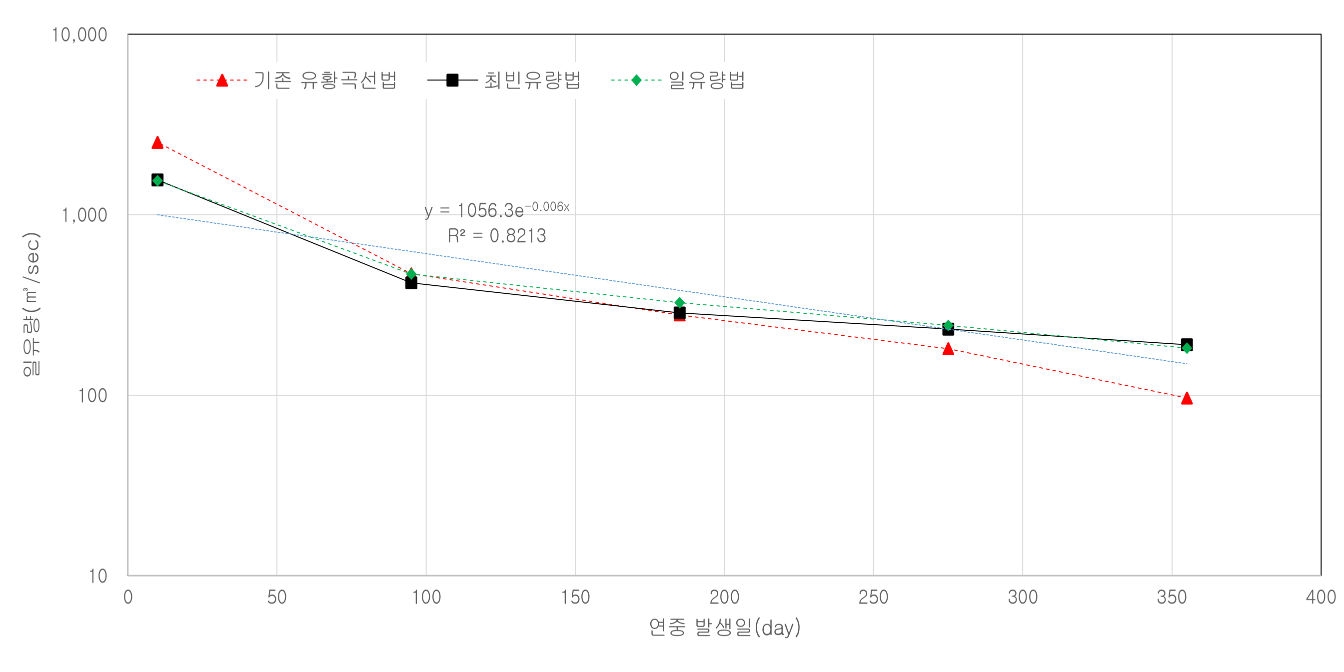
부도 31 | 분석지점의 작성방법별 유황분석 기준유량(섬진강 섬진강댐)



자료 : 저자 작성

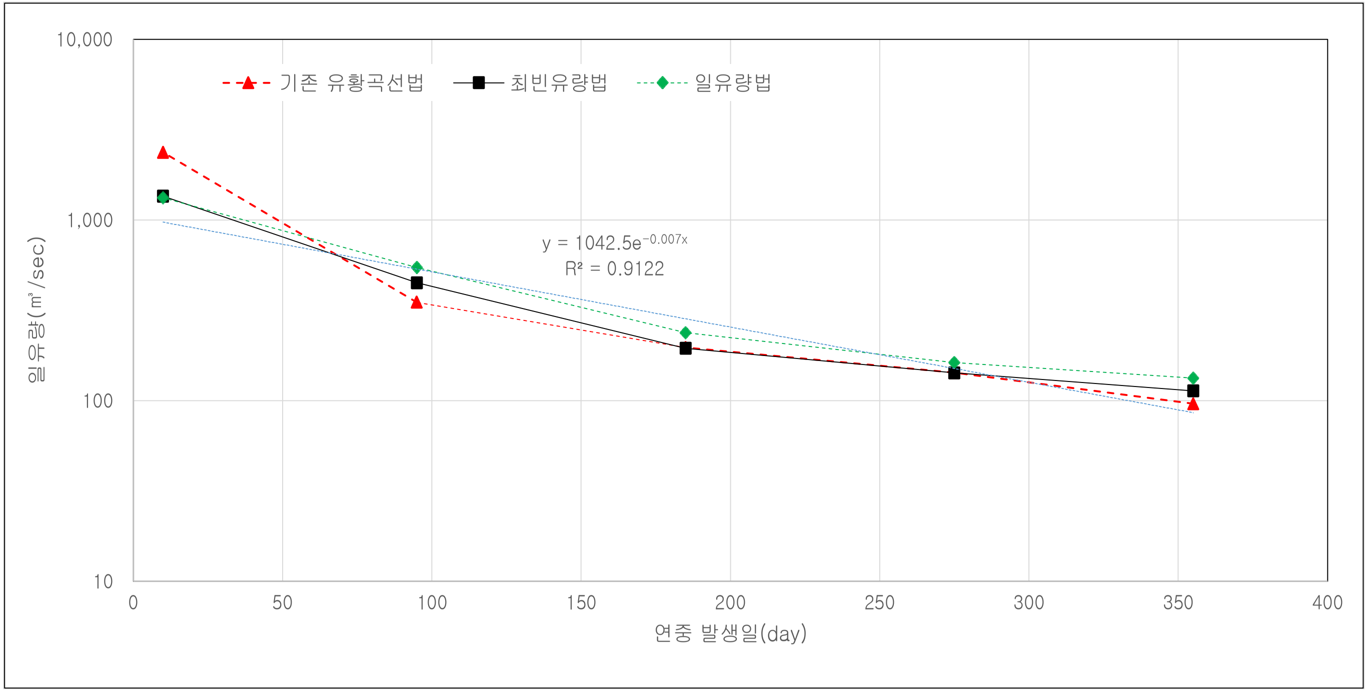
▣ 부록 11 : 적용지점의 작성방법별 유황분석 기준유량

부도 32 | 적용지점의 작성방법별 유황분석 기준유량(한강 한강대교)



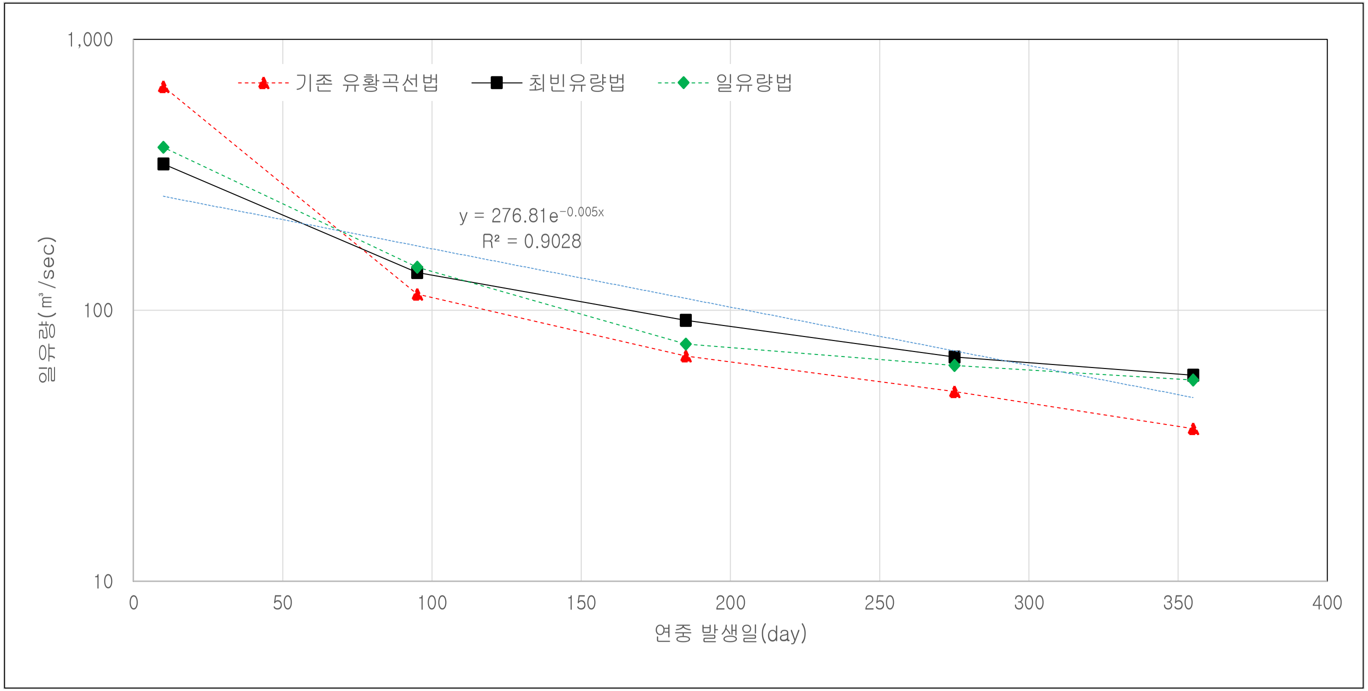
자료 : 저자 작성

부도 33 | 적용지점의 작성방법별 유황분석 기준유량(낙동강 진동)



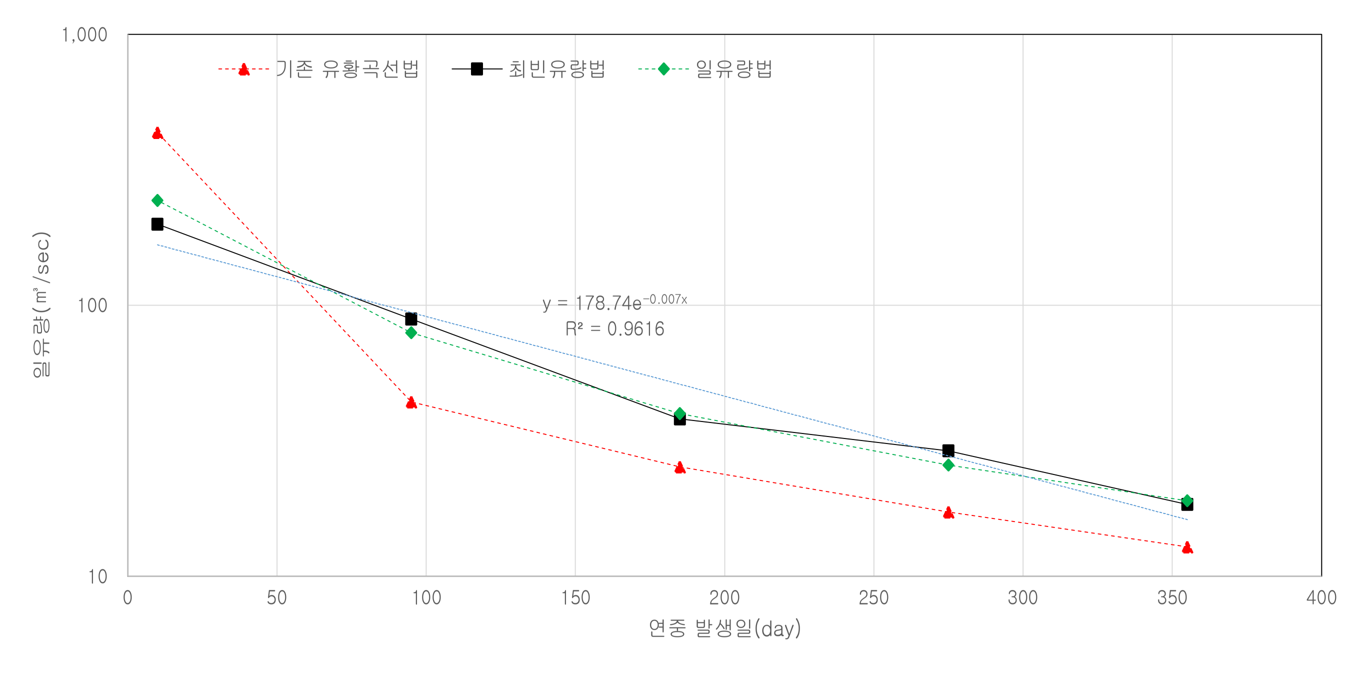
자료 : 저자 작성

부도 34 | 적용지점의 작성방법별 유황분석 기준유량(금강 금강교)



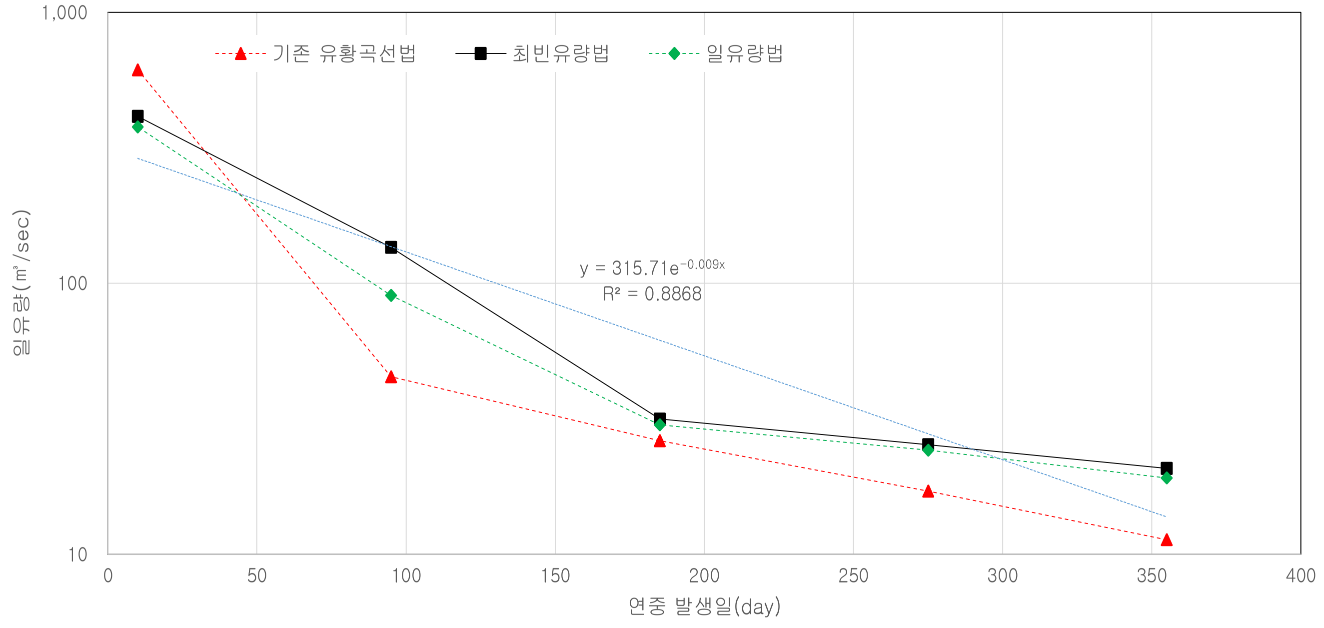
자료 : 저자 작성

부도 35 | 적용지점의 작성방법별 유황분석 기준유량(영산강 나주대교)



자료 : 저자 작성

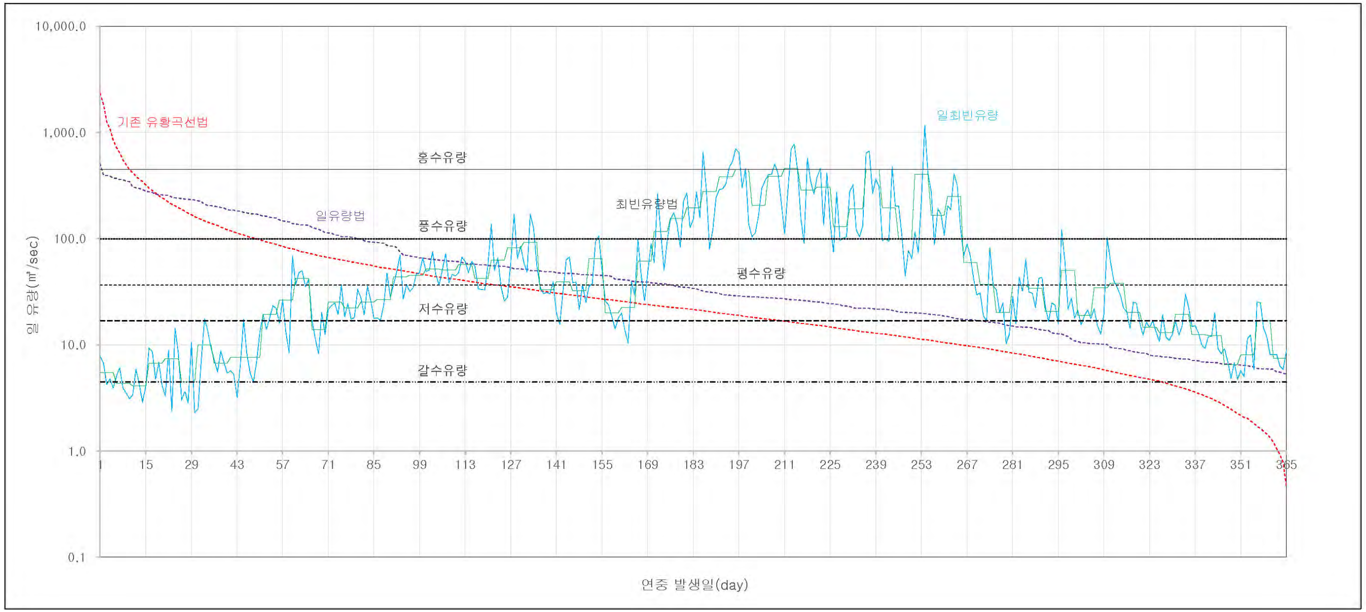
부도 36 | 적용지점의 작성방법별 유황분석 기준유량(섬진강 송정)



자료 : 저자 작성

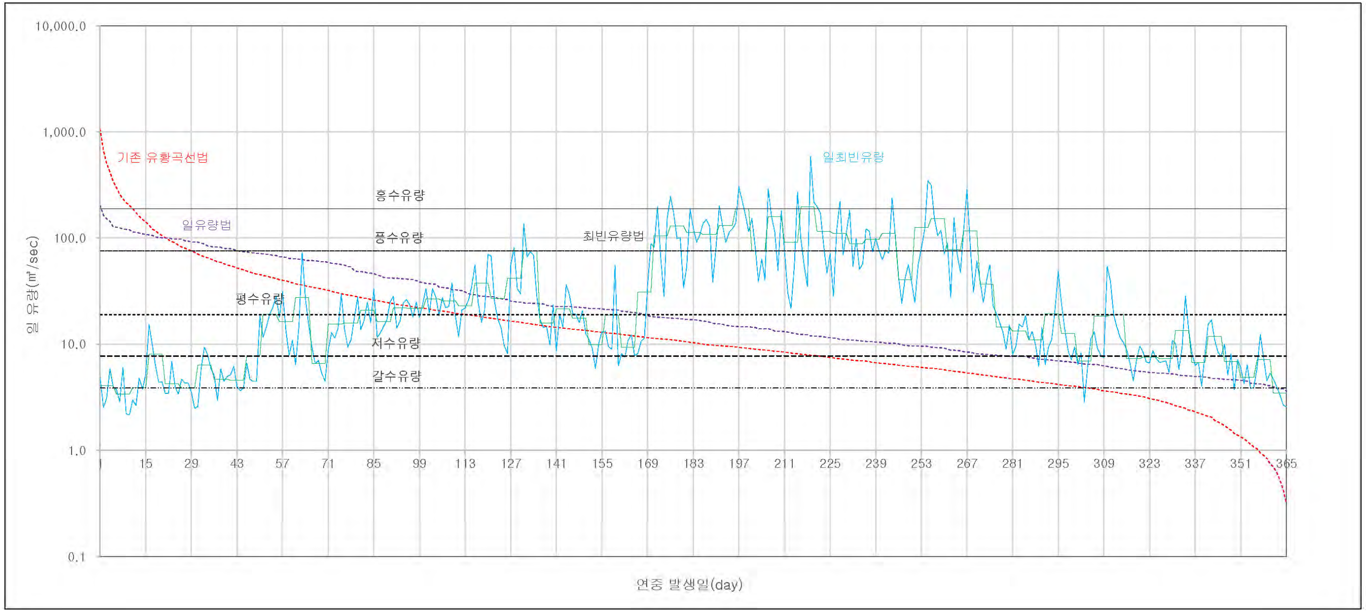
▣ 부록 12 : 분석지점의 작성방법별 유황곡선

부도 37 | 분석지점의 작성방법별 유황곡선(한강 소양강댐)



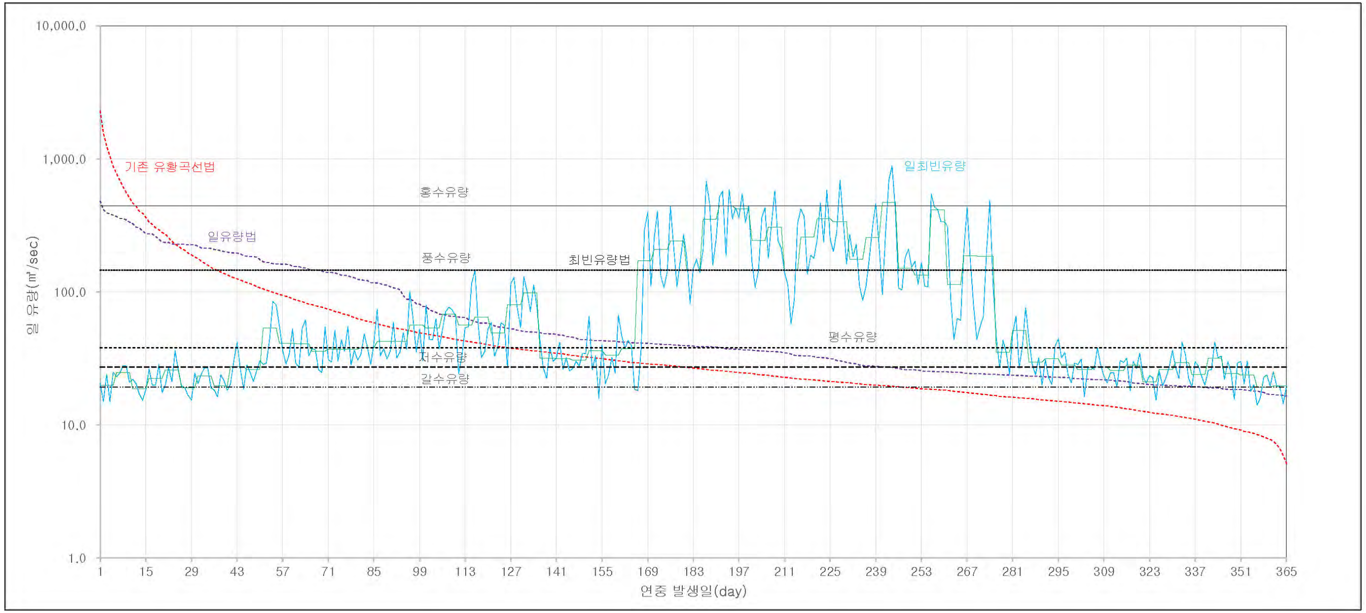
자료 : 저자 작성

부도 38 | 분석지점의 작성방법별 유황곡선(낙동강 안동댐)



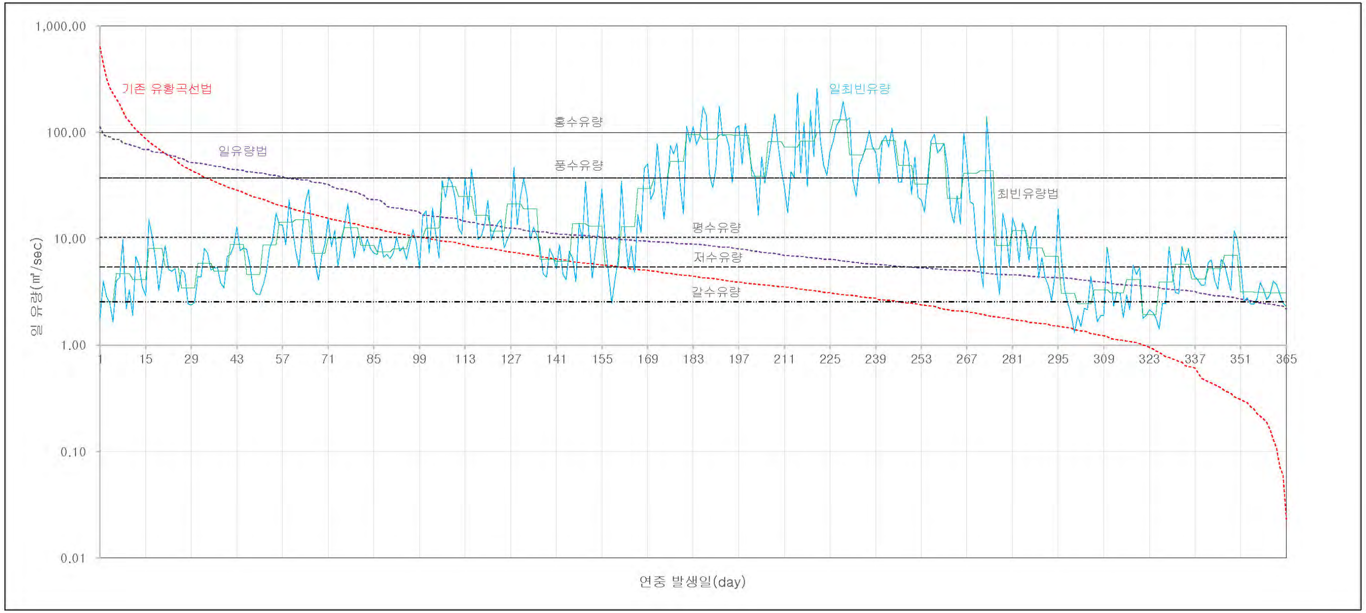
자료 : 저자 작성

부도 39 | 분석지점의 작성방법별 유황곡선(금강 대청댐)



자료 : 저자 작성

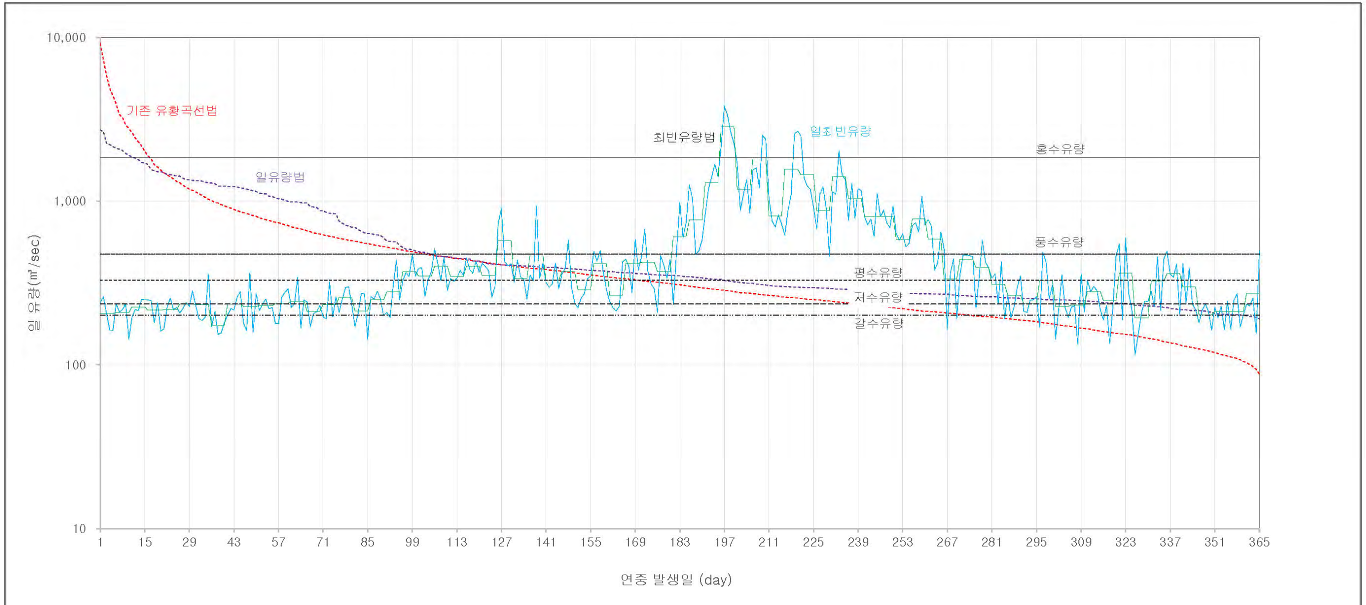
부도 40 | 분석지점의 작성방법별 유황곡선(섬진강 섬진강댐)



자료 : 저자 작성

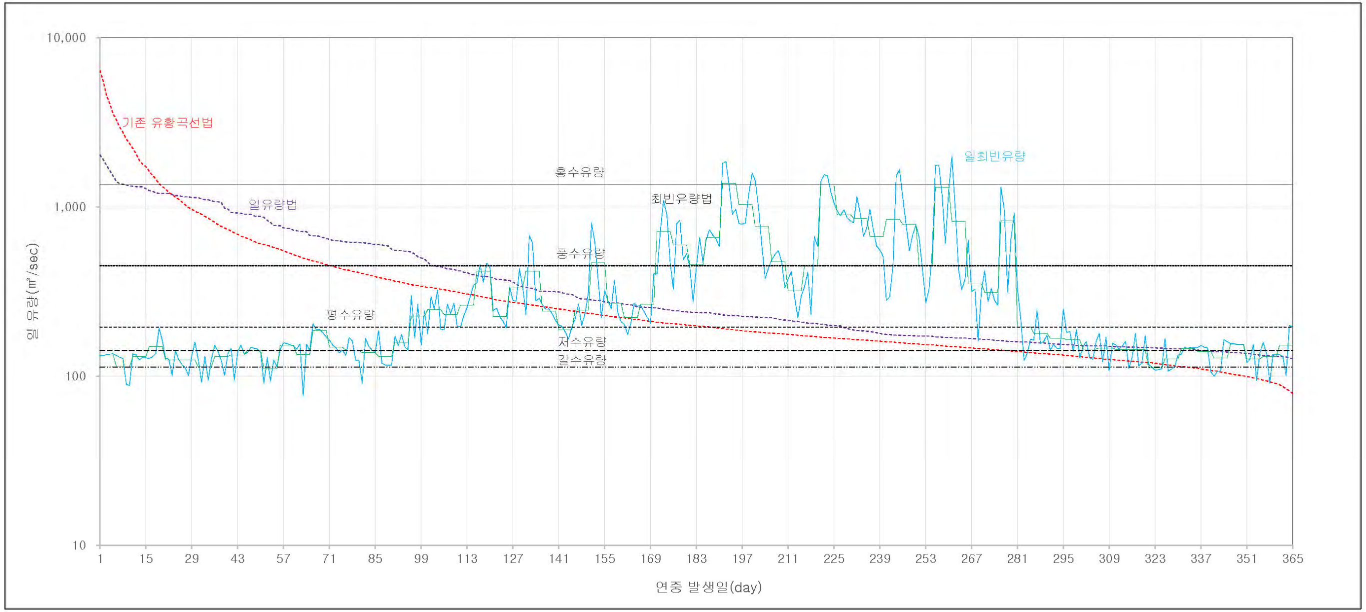
▣ 부록 13 : 적용지점의 작성방법별 유황곡선

부도 41 | 적용지점의 작성방법별 유황곡선(한강 한강대교)



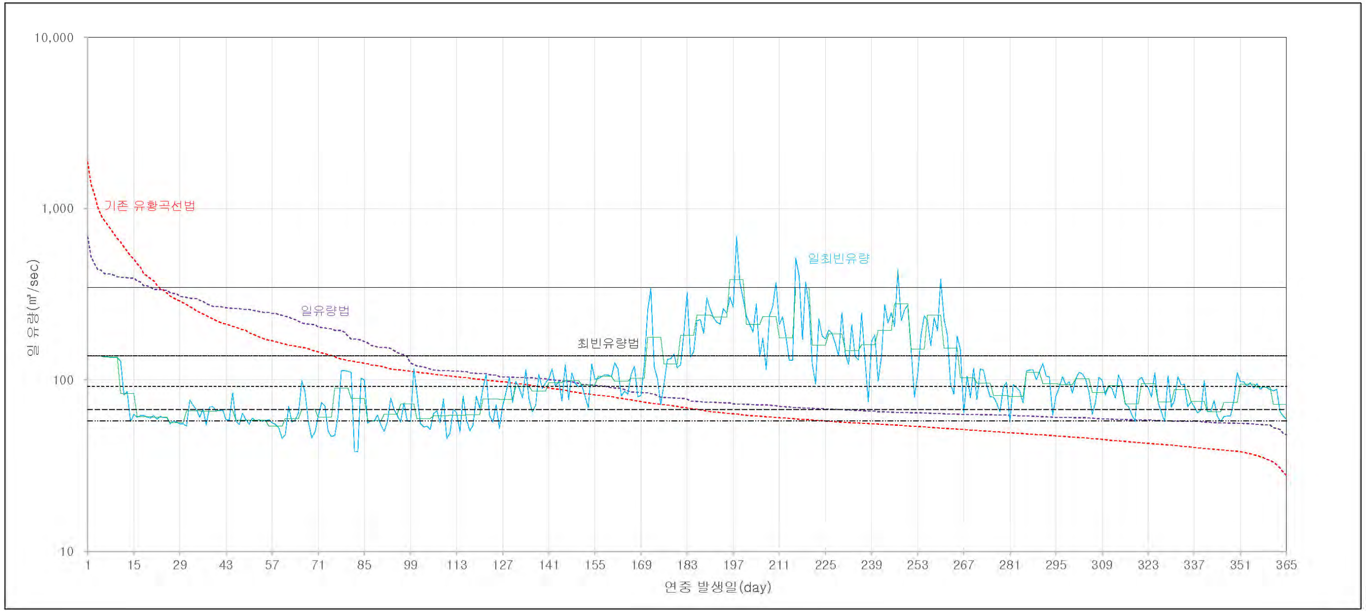
자료 : 저자 작성

부도 42 | 적용지점의 작성방법별 유황곡선(낙동강 진동)



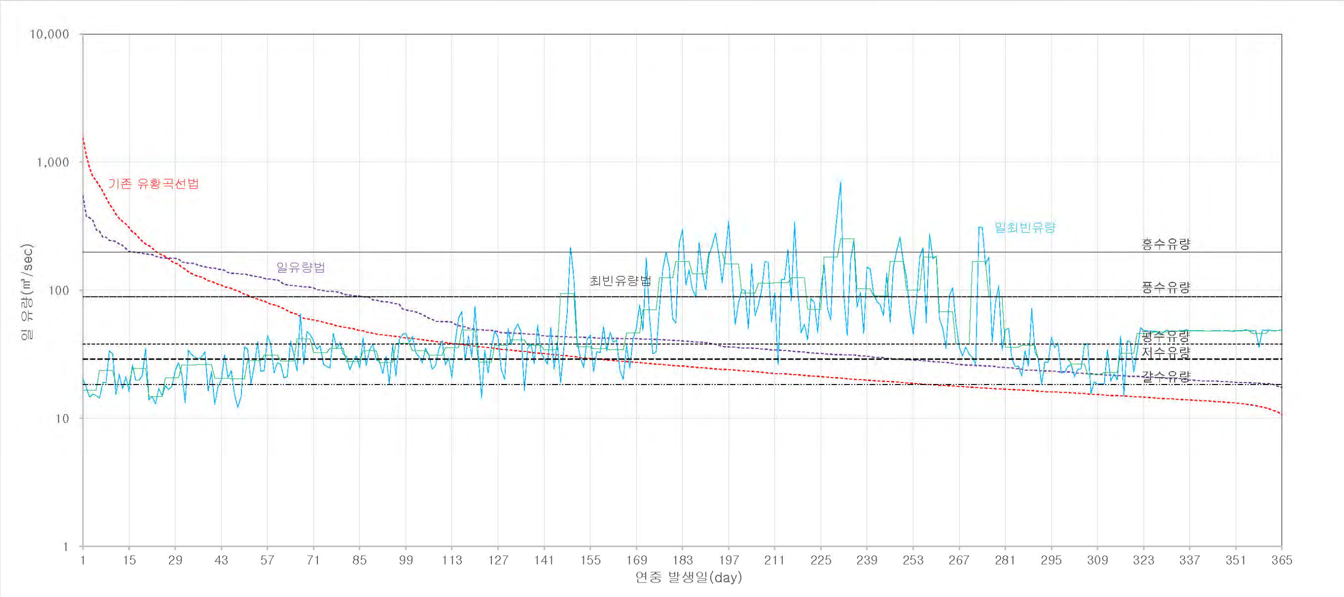
자료 : 저자 작성

부도 43 | 적용지점의 작성방법별 유황곡선(금강 금강교)



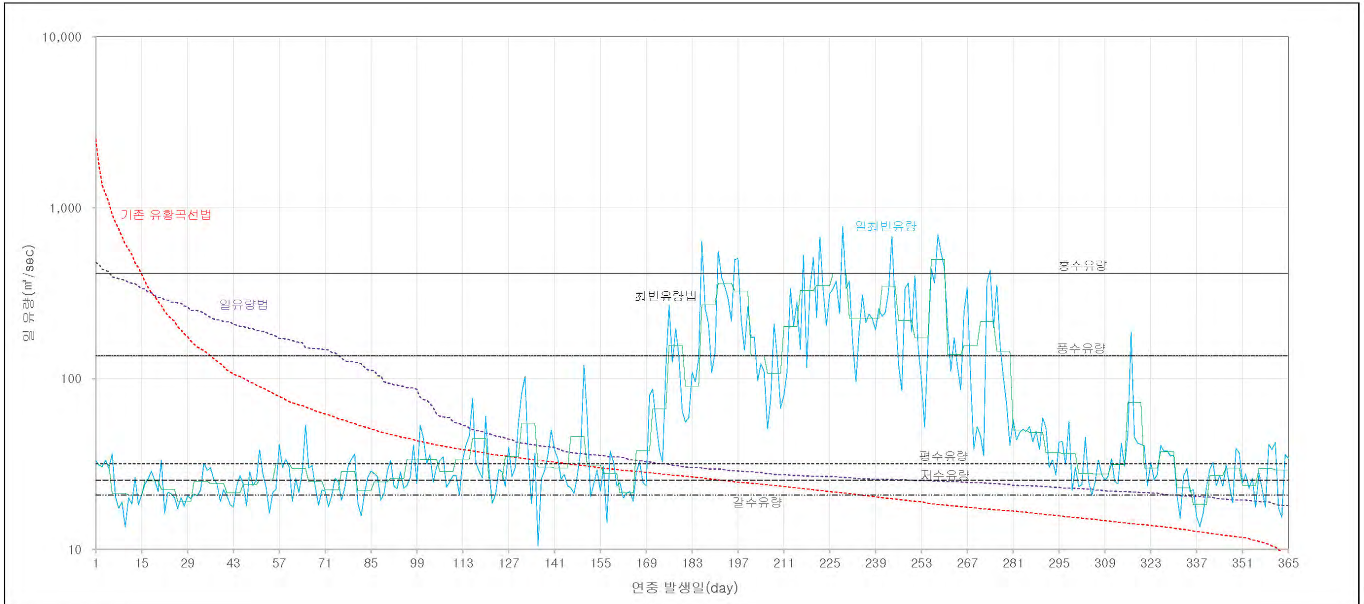
자료 : 저자 작성

부도 44 | 적용지점의 작성방법별 유황곡선(영산강 나주대교)



자료 : 저자 작성

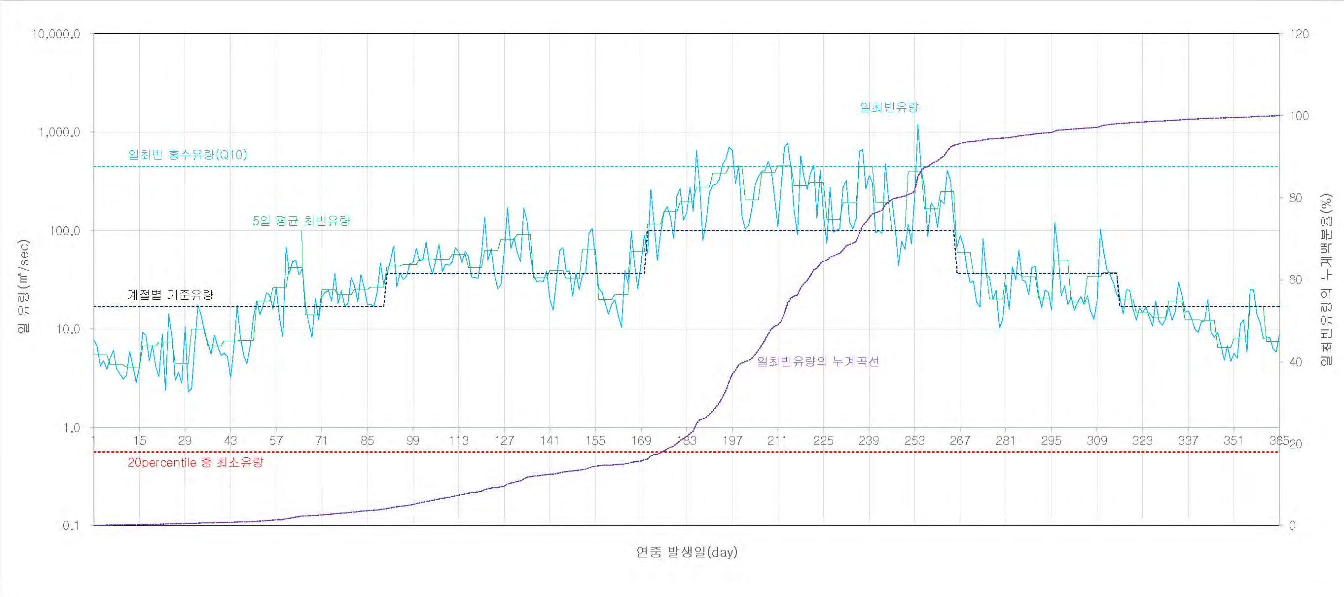
부도 45 | 적용지점의 작성방법별 유황곡선(섬진강 송정)



자료 : 저자 작성

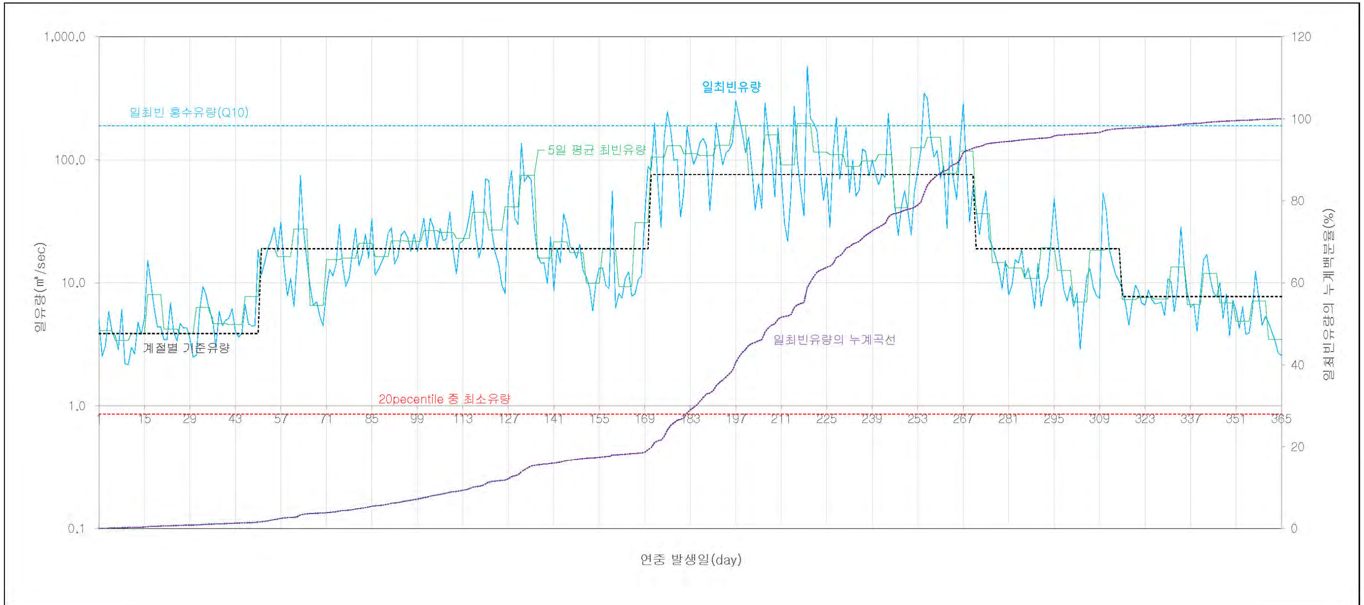
▣ 부록 14 : 분석지점의 평상시 관리기간 및 기준유량

부도 46 | 분석지점의 평상시 관리기간 및 기준유량(한강 소양강댐)



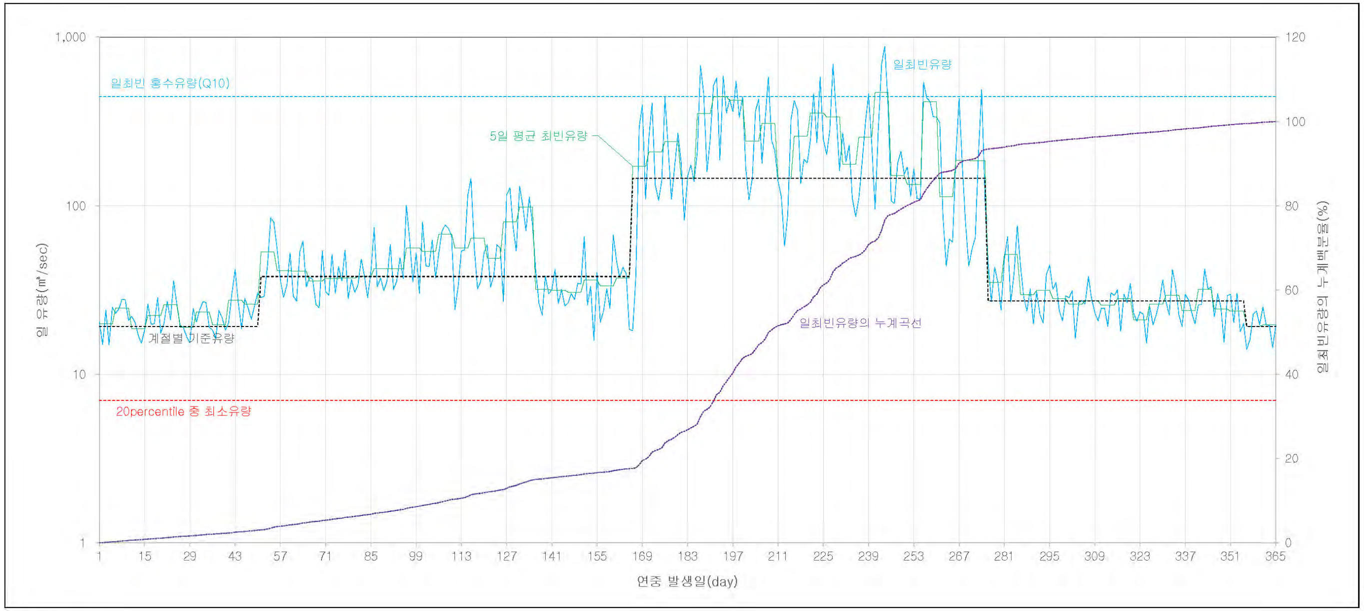
자료 : 저자 작성

부도 47 | 분석지점의 평상시 관리기간 및 기준유량(낙동강 안동댐)



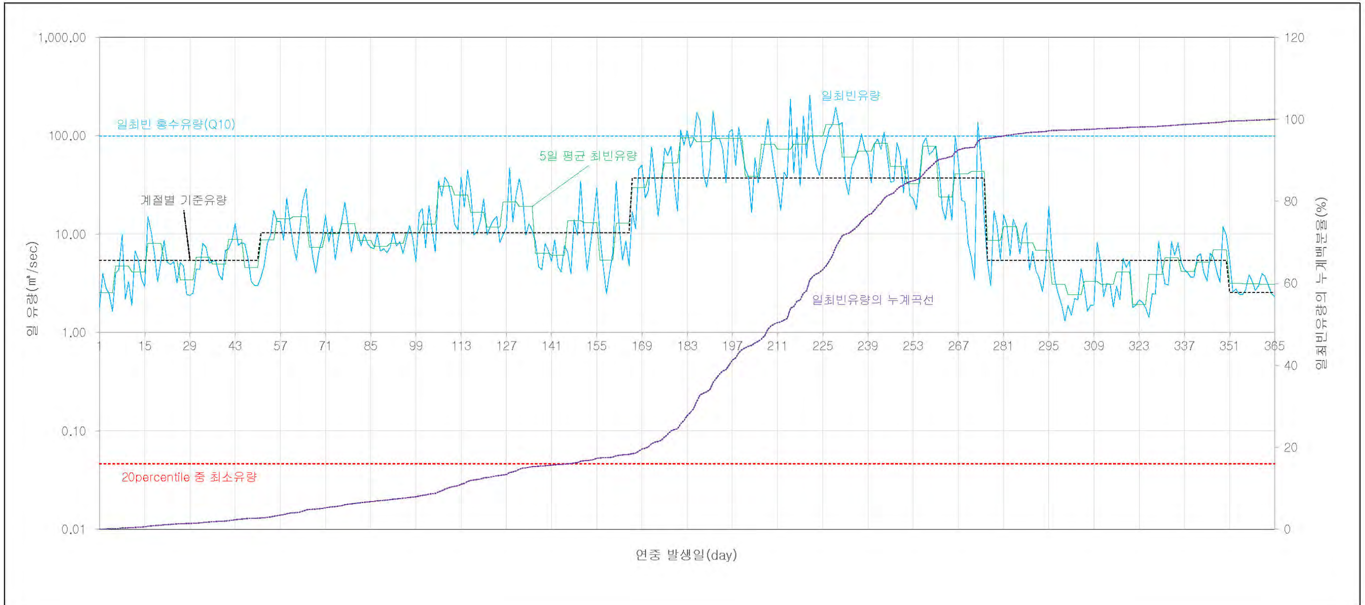
자료 : 저자 작성

부도 48 | 분석지점의 평상시 관리기간 및 기준유량(금강 대청댐)



자료 : 저자 작성

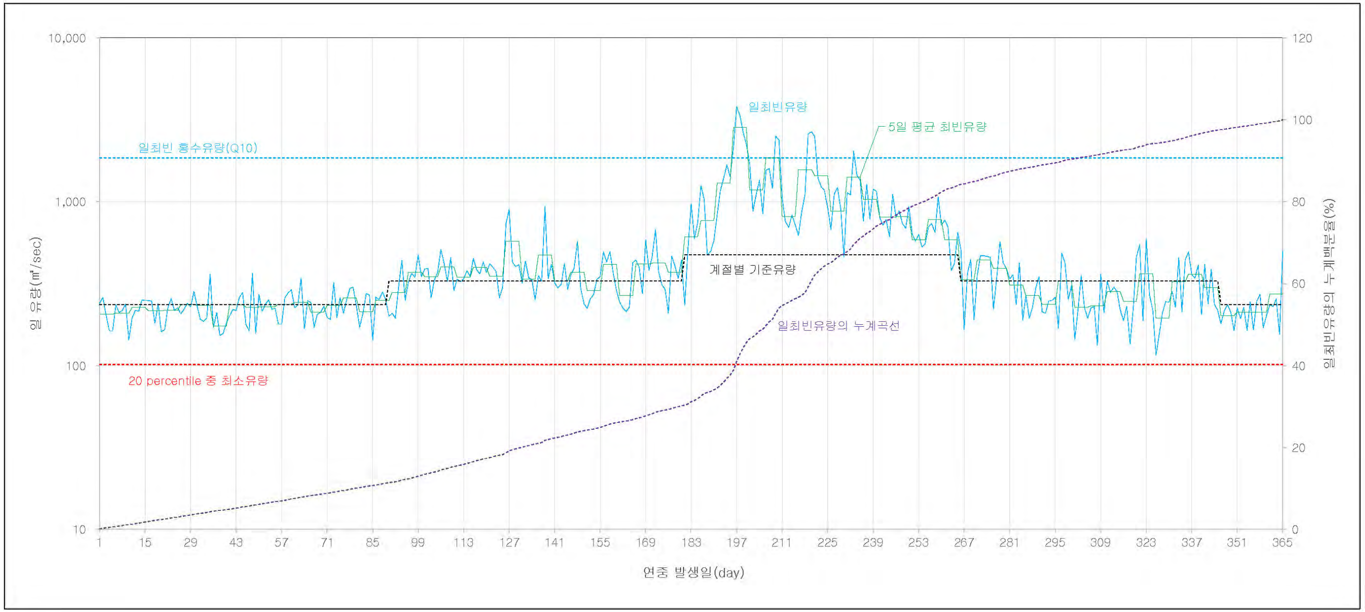
부도 49 | 분석지점의 평상시 관리기간 및 기준유량(섬진강 섬진강댐)



자료 : 저자 작성

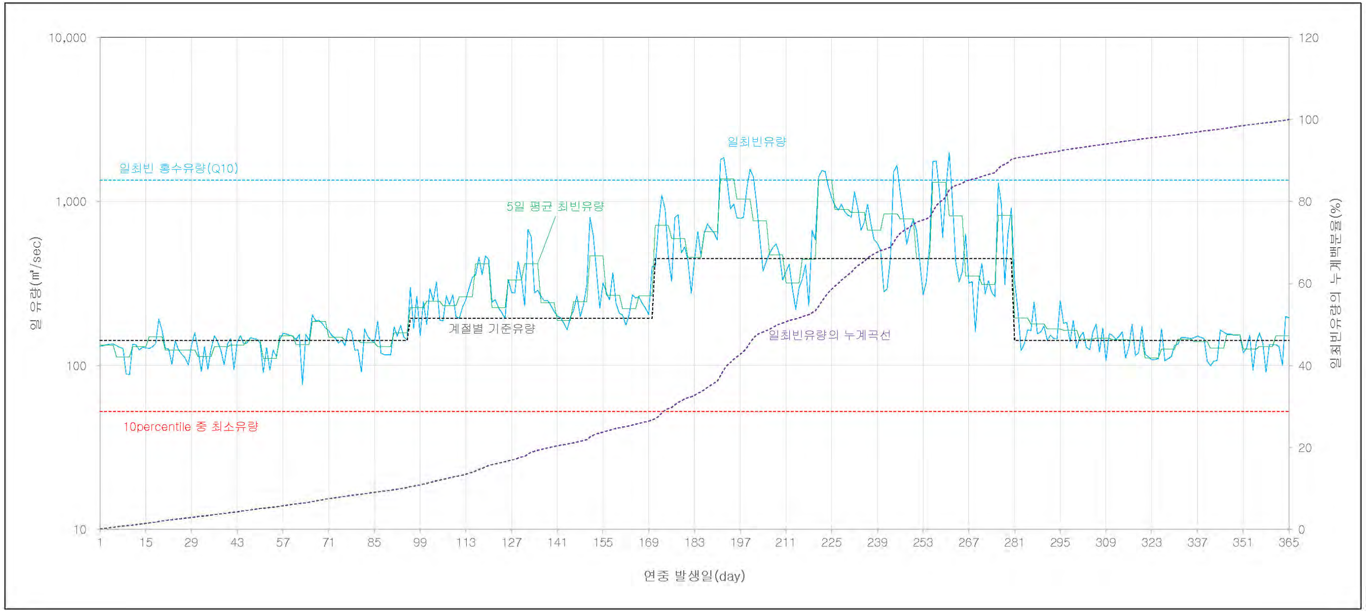
▣ 부록 15 : 적용지점의 평상시 관리기간 및 기준유량

부도 50 | 적용지점의 평상시 관리기간 및 기준유량(한강 한강대교)



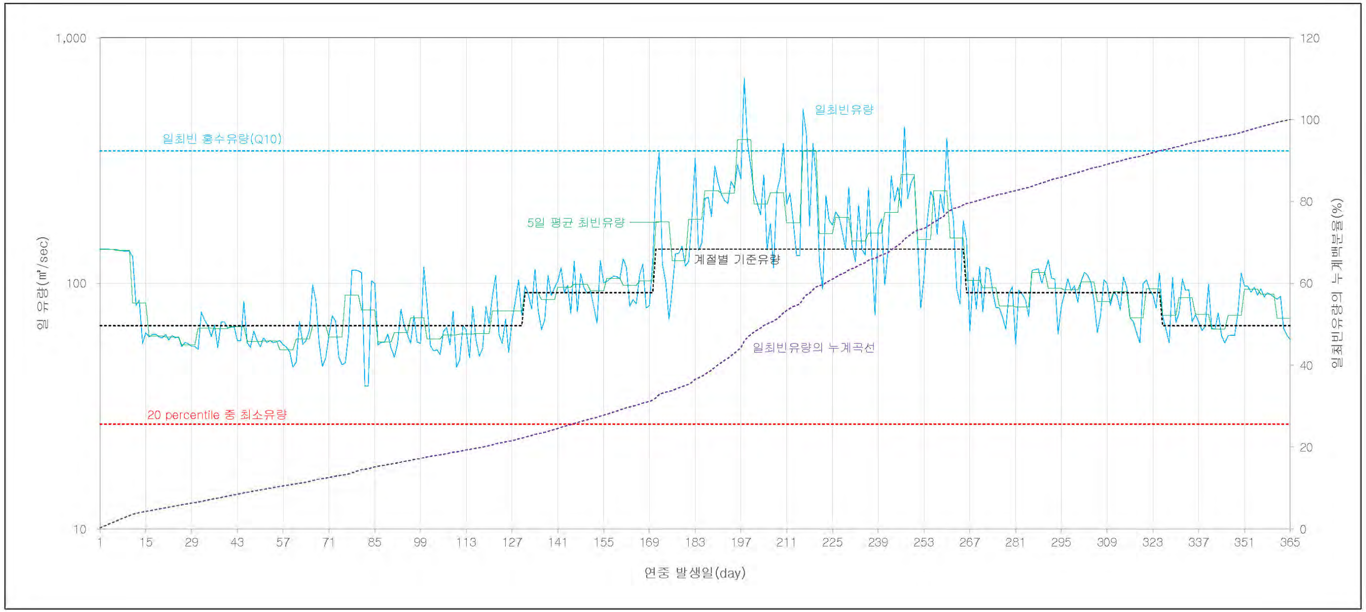
자료 : 저자 작성

부도 51 | 적용지점의 평상시 관리기간 및 기준유량(낙동강 진동)



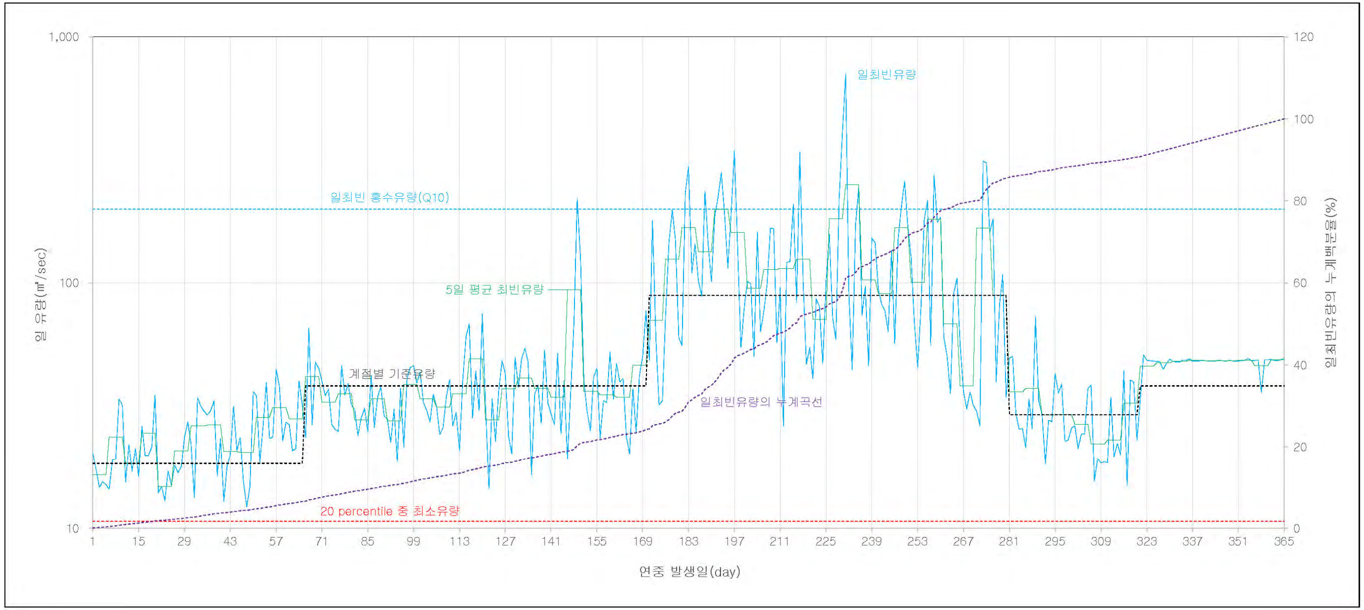
자료 : 저자 작성

부도 52 | 적용지점의 평상시 관리기간 및 기준유량(금강 금강교)



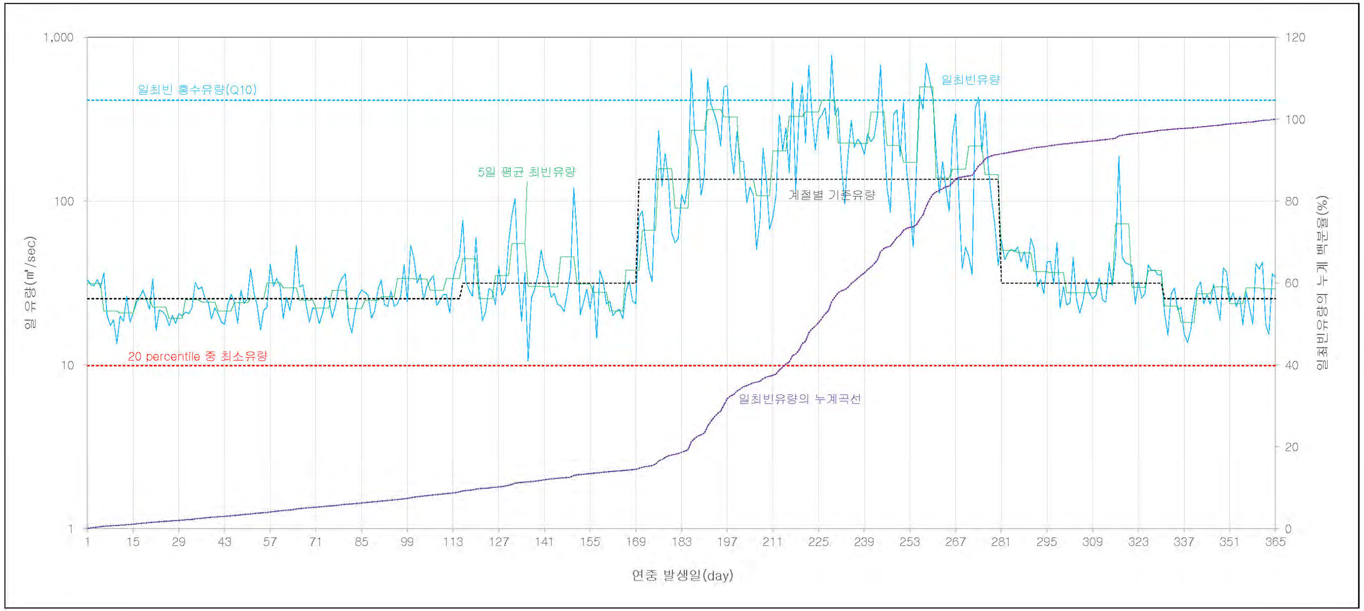
자료 : 저자 작성

부도 53 | 적용지점의 평상시 관리기간 및 기준유량(영산강 나주대교)



자료 : 저자 작성

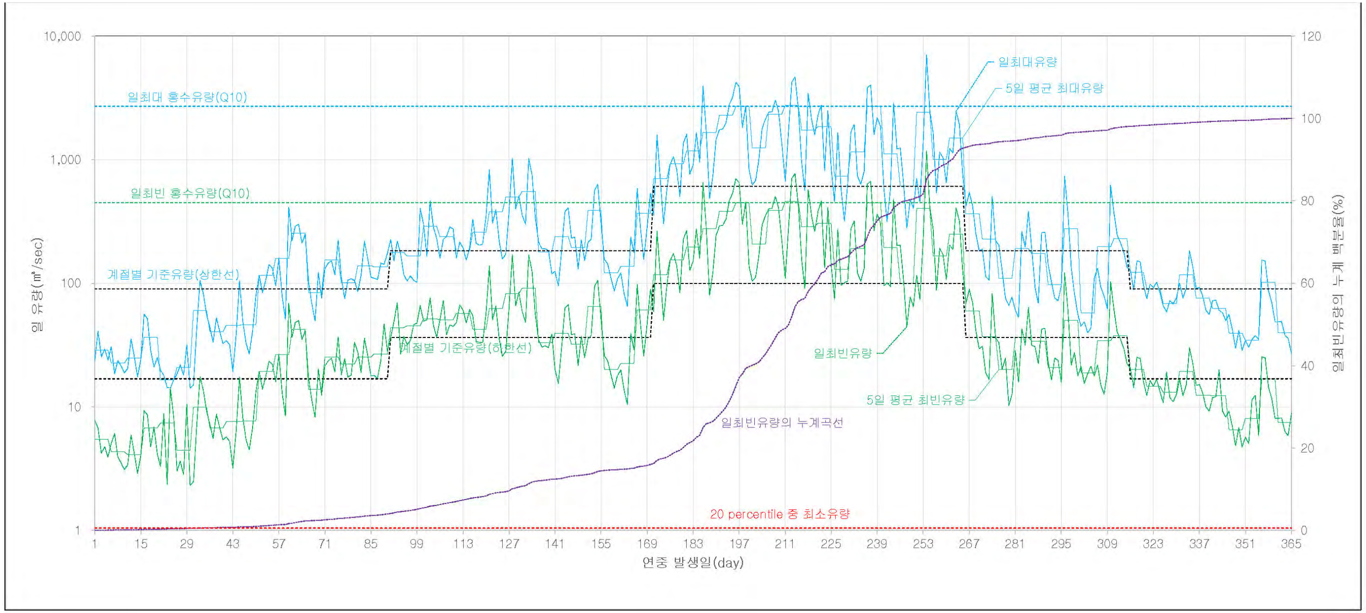
부도 54 | 적용지점의 평상시 관리기간 및 기준유량(섬진강 송정)



자료 : 저자 작성

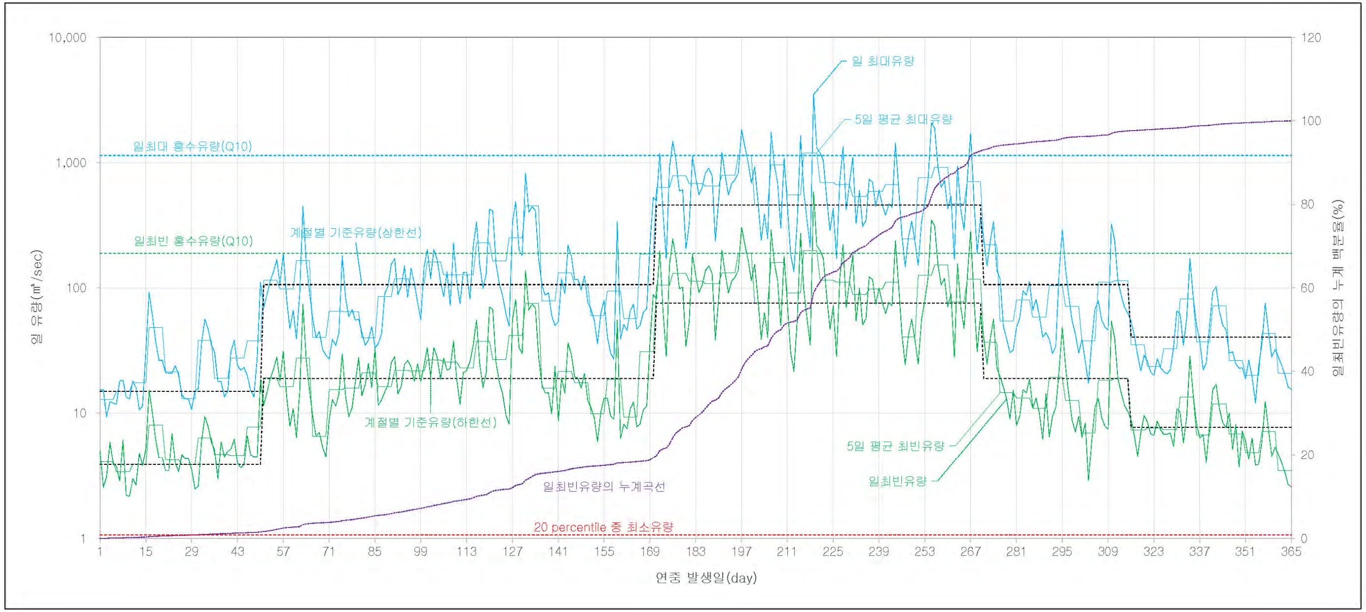
▣ 부록 16 : 분석지점의 관리기간 및 기준유량

부도 55 | 분석지점의 관리기간 및 기준유량(한강 소양강댐)



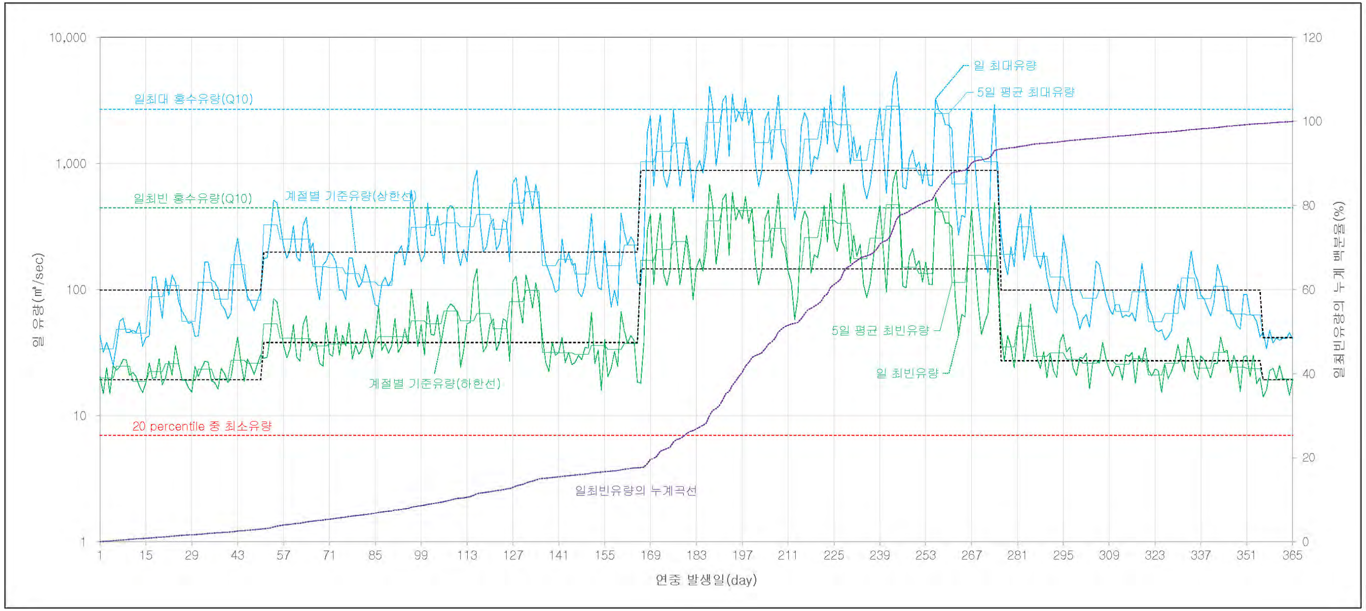
자료 : 저자 작성

부도 56 | 분석지점의 관리기간 및 기준유량(낙동강 안동댐)



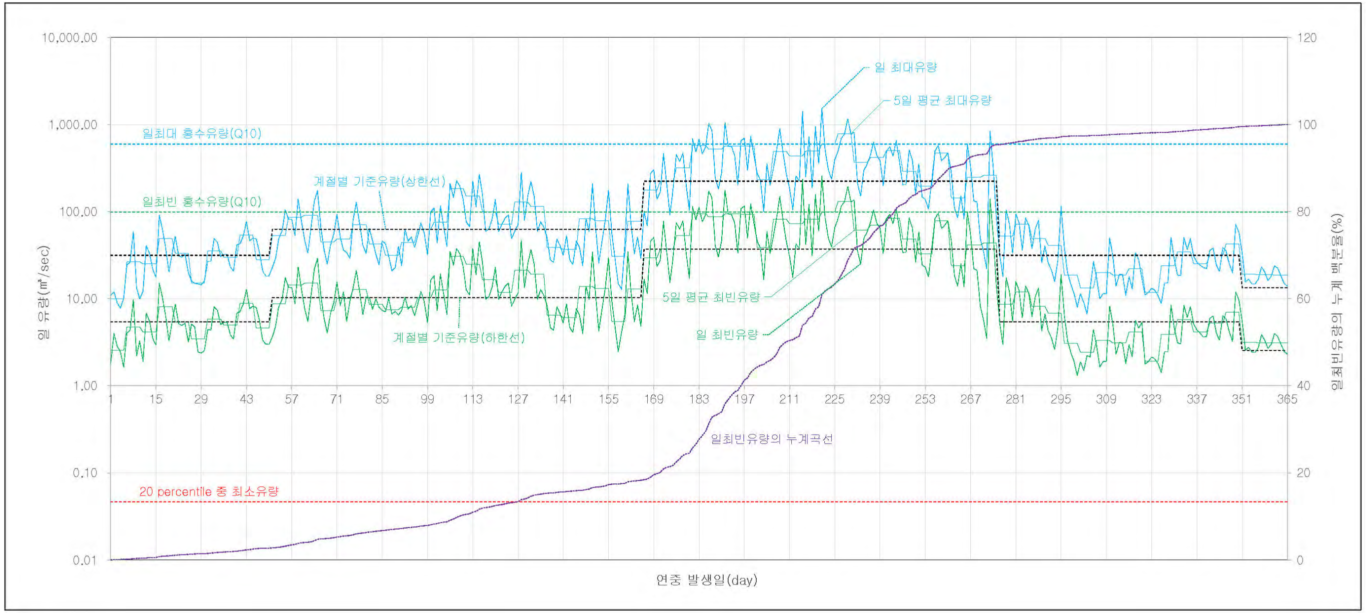
자료 : 저자 작성

부도 57 | 분석지점의 관리기간 및 기준유량(금강 대청댐)



자료 : 저자 작성

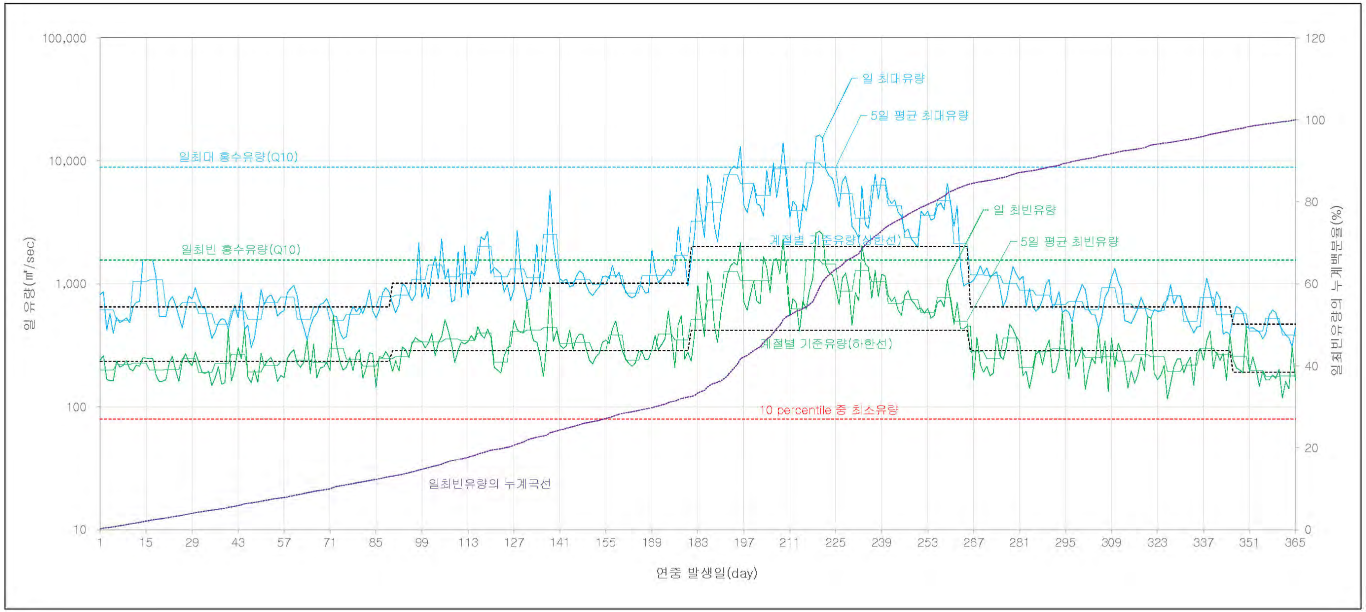
부도 58 | 분석지점의 관리기간 및 기준유량(섬진강 섬진강댐)



자료 : 저자 작성

▣ 부록 17 : 적용지점의 관리기간 및 기준유량

부도 59 | 적용지점의 관리기간 및 기준유량(한강 한강대교)



자료 : 저자 작성

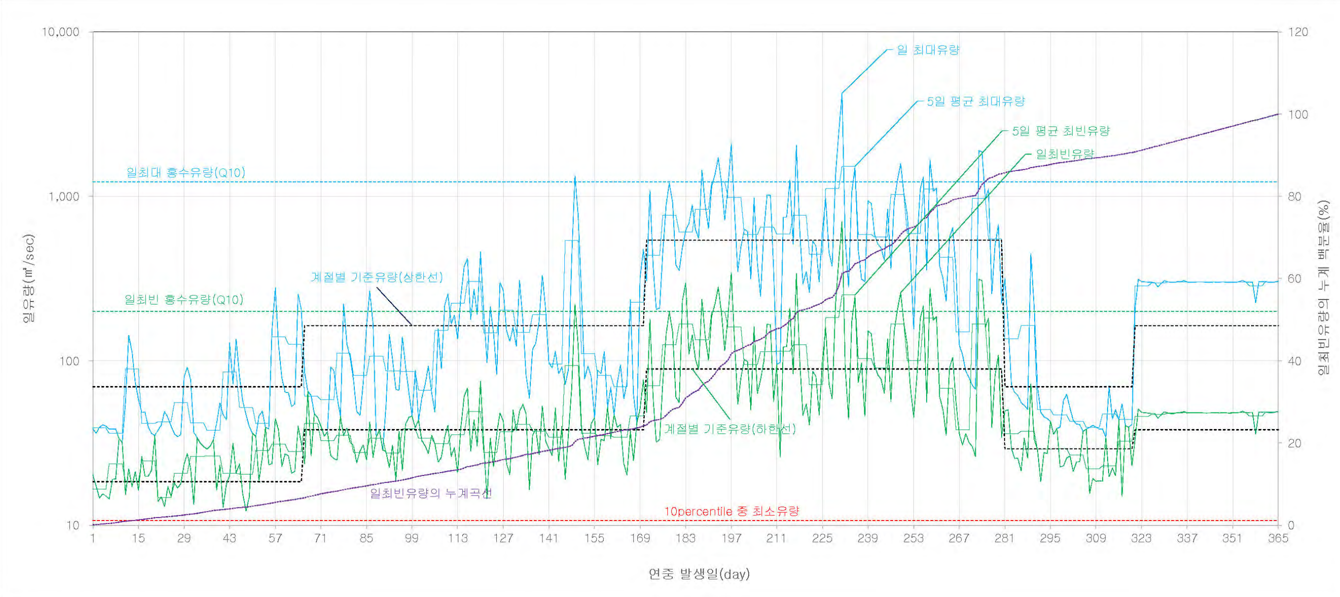
부도 60 | 적용지점의 관리기간 및 기준유량(낙동강 진동)

자료 : 저자 작성

부도 61 | 적용지점의 관리기간 및 기준유량(금강 금강교)

자료 : 저자 작성

부도 62 | 적용지점의 관리기간 및 기준유량(영산강 나주대교)



자료 : 저자 작성

부도 63 | 적용지점의 관리기간 및 기준유량(섬진강 송정)

자료 : 저자 작성

▣ 부록 18 : 분석지점의 관리기간별 기준유량

부표 4 | 분석지점의 관리기간별 기준유량

(단위 : ㎥/sec)

일자		한강(소양강댐)				낙동강(안동댐)				금강(대청댐)				섬진강(섬진강댐)			
월	일	5일	절기별	월별	계절별	5일	절기별	월별	계절별	5일	절기별	월별	계절별	5일	절기별	월별	계절별
1	1	5.47	9.94	5.32	16.88	4.07	4.89	4.51	3.86	19.90	19.61	21.77	19.27	2.55	2.92	4.72	5.43
1	6	4.34	5.12	5.32	16.88	3.40	5.16	4.51	3.86	24.82	22.29	21.77	19.27	4.72	5.67	4.72	5.43
1	11	4.10	5.12	5.32	16.88	3.88	5.16	4.51	3.86	18.67	22.29	21.77	19.27	4.14	5.67	4.72	5.43
1	16	6.73	5.12	5.32	16.88	8.03	5.16	4.51	3.86	22.45	22.29	21.77	19.27	8.10	5.67	4.72	5.43
1	21	7.40	6.94	5.32	16.88	4.22	4.70	4.51	3.86	25.96	22.73	21.77	19.27	5.43	4.93	4.72	5.43
1	26	4.46	6.94	5.32	16.88	3.86	4.70	4.51	3.86	19.05	22.73	21.77	19.27	3.44	4.93	4.72	5.43
1	31	9.98	6.94	5.32	16.88	6.33	4.70	4.51	3.86	23.45	22.73	21.77	19.27	5.86	4.93	4.72	5.43
2	5	6.73	7.06	11.35	16.88	4.67	4.81	9.99	3.86	19.68	23.67	31.57	19.27	4.96	6.28	7.85	5.43
2	10	7.59	7.06	11.35	16.88	4.56	4.81	9.99	3.86	27.55	23.67	31.57	19.27	8.87	6.28	7.85	5.43
2	15	7.66	7.06	11.35	16.88	7.72	4.81	9.99	3.86	26.07	23.67	31.57	19.27	4.59	6.28	7.85	5.43
2	20	19.29	27.47	11.35	16.88	19.09	21.15	9.99	18.92	53.40	45.01	31.57	38.08	8.77	10.98	7.85	10.33
2	25	26.46	27.47	11.35	16.88	16.26	21.15	9.99	18.92	41.27	45.01	31.57	38.08	14.32	10.98	7.85	10.33
3	2	42.29	27.47	27.34	16.88	27.49	21.15	16.88	18.92	40.89	45.01	39.04	38.08	15.07	10.98	10.31	10.33
3	7	13.93	21.02	27.34	16.88	6.53	11.79	16.88	18.92	35.87	36.90	39.04	38.08	7.33	11.30	10.31	10.33
3	12	25.20	21.02	27.34	16.88	15.40	11.79	16.88	18.92	37.17	36.90	39.04	38.08	10.13	11.30	10.31	10.33
3	17	22.29	21.02	27.34	16.88	15.86	11.79	16.88	18.92	37.21	36.90	39.04	38.08	12.71	11.30	10.31	10.33
3	22	25.31	31.70	27.34	16.88	20.91	19.77	16.88	18.92	38.08	40.57	39.04	38.08	8.64	8.33	10.31	10.33
3	27	26.81	31.70	27.34	16.88	16.26	19.77	16.88	18.92	42.32	40.57	39.04	38.08	7.51	8.33	10.31	10.33
4	1	43.77	31.70	48.36	36.47	21.89	19.77	26.06	18.92	42.57	40.57	56.86	38.08	8.02	8.33	17.22	10.33
4	6	45.20	48.59	48.36	36.47	21.68	25.16	26.06	18.92	56.32	57.32	56.86	38.08	10.33	16.73	17.22	10.33
4	11	51.60	48.59	48.36	36.47	26.58	25.16	26.06	18.92	53.56	57.32	56.86	38.08	12.56	16.73	17.22	10.33
4	16	50.45	48.59	48.36	36.47	25.65	25.16	26.06	18.92	67.88	57.32	56.86	38.08	30.74	16.73	17.22	10.33
4	21	56.88	53.40	48.36	36.47	23.04	28.45	26.06	18.92	56.41	57.21	56.86	38.08	25.00	18.18	17.22	10.33
4	26	42.28	53.40	48.36	36.47	37.50	28.45	26.06	18.92	64.44	57.21	56.86	38.08	16.63	18.18	17.22	10.33
5	1	62.78	53.40	56.17	36.47	26.81	28.45	32.35	18.92	49.03	57.21	54.00	38.08	11.81	18.18	13.02	10.33
5	6	82.04	68.94	56.17	36.47	41.64	44.14	32.35	18.92	80.02	70.16	54.00	38.08	21.35	15.62	13.02	10.33
5	11	91.69	68.94	56.17	36.47	74.95	44.14	32.35	18.92	98.56	70.16	54.00	38.08	19.07	15.62	13.02	10.33
5	16	33.09	68.94	56.17	36.47	15.84	44.14	32.35	18.92	31.89	70.16	54.00	38.08	6.44	15.62	13.02	10.33
5	21	39.32	44.21	56.17	36.47	21.59	16.14	32.35	18.92	31.49	32.02	54.00	38.08	6.10	10.91	13.02	10.33
5	26	32.25	44.21	56.17	36.47	17.52	16.14	32.35	18.92	30.72	32.02	54.00	38.08	13.78	10.91	13.02	10.33
5	31	64.75	44.21	56.17	36.47	9.90	16.14	32.35	18.92	36.18	32.02	54.00	38.08	13.13	10.91	13.02	10.33
6	5	20.01	44.21	81.03	36.47	18.70	16.14	52.21	18.92	33.60	32.02	125.10	38.08	5.47	10.91	28.69	10.33
6	10	22.47	50.95	81.03	36.47	9.31	35.04	52.21	18.92	37.25	115.68	125.10	38.08	12.97	20.99	28.69	10.33
6	15	61.12	50.95	81.03	36.47	30.83	35.04	52.21	18.92	171.37	115.68	125.10	145.73	29.61	20.99	28.69	37.18
6	20	116.67	50.95	81.03	99.53	105.36	35.04	52.21	75.67	208.43	115.68	125.10	145.73	37.18	20.99	28.69	37.18
6	25	154.86	196.72	81.03	99.53	130.56	116.73	52.21	75.67	240.78	213.43	125.10	145.73	53.20	75.92	28.69	37.18
6	30	195.69	196.72	81.03	99.53	112.75	116.73	52.21	75.67	145.73	213.43	125.10	145.73	95.20	75.92	28.69	37.18
7	5	276.94	196.72	309.90	99.53	107.86	116.73	126.85	75.67	351.63	213.43	311.19	145.73	86.67	75.92	76.99	37.18
7	10	382.84	311.66	309.90	99.53	131.14	133.04	126.85	75.67	444.42	351.72	311.19	145.73	94.31	72.43	76.99	37.18
7	15	448.68	311.66	309.90	99.53	189.28	133.04	126.85	75.67	422.62	351.72	311.19	145.73	93.81	72.43	76.99	37.18
7	20	206.55	311.66	309.90	99.53	75.67	133.04	126.85	75.67	243.00	351.72	311.19	145.73	38.66	72.43	76.99	37.18
7	25	387.32	377.91	309.90	99.53	159.10	132.90	126.85	75.67	307.48	260.63	311.19	145.73	81.88	76.09	76.99	37.18
7	30	457.60	377.91	309.90	99.53	91.02	132.90	126.85	75.67	145.13	260.63	311.19	145.73	72.74	76.09	76.99	37.18
8	4	286.76	377.91	290.39	99.53	197.85	132.90	116.37	75.67	258.61	260.63	272.73	145.73	82.32	76.09	89.61	37.18
8	9	305.89	217.67	290.39	99.53	115.09	115.42	116.37	75.67	355.43	295.57	272.73	145.73	99.14	96.95	89.61	37.18
8	14	129.99	217.67	290.39	99.53	110.38	115.42	116.37	75.67	336.75	295.57	272.73	145.73	130.50	96.95	89.61	37.18
8	19	190.96	217.67	290.39	99.53	88.73	115.42	116.37	75.67	175.84	295.57	272.73	145.73	61.00	96.95	89.61	37.18
8	24	447.89	239.91	290.39	99.53	97.65	81.34	116.37	75.67	256.37	280.10	272.73	145.73	69.88	66.96	89.61	37.18
8	29	193.95	239.91	290.39	99.53	110.63	81.34	116.37	75.67	471.80	280.10	272.73	145.73	83.91	66.96	89.61	37.18

자료 : 저자 작성

(계속)

일자		한강(소양강댐)				낙동강(안동댐)				금강(대청댐)				섬진강(섬진강댐)			
월	일	5일	절기별	월별	계절별	5일	절기별	월별	계절별	5일	절기별	월별	계절별	5일	절기별	월별	계절별
9	3	99.53	239.91	187.60	99.53	40.59	81.34	100.44	75.67	150.84	280.10	220.20	145.73	48.72	66.96	48.12	37.18
9	8	401.70	272.39	187.60	99.53	125.58	118.60	100.44	75.67	133.95	220.28	220.20	145.73	32.57	44.89	48.12	37.18
9	13	166.51	272.39	187.60	99.53	152.52	118.60	100.44	75.67	413.41	220.28	220.20	145.73	78.28	44.89	48.12	37.18
9	18	248.96	272.39	187.60	99.53	77.70	118.60	100.44	75.67	113.49	220.28	220.20	145.73	23.83	44.89	48.12	37.18
9	23	59.68	38.93	187.60	36.47	117.07	56.07	100.44	75.67	186.07	135.28	220.20	145.73	41.15	31.11	48.12	37.18
9	28	36.95	38.93	187.60	36.47	36.55	56.07	100.44	18.92	184.72	135.28	220.20	145.73	43.50	31.11	48.12	37.18
10	3	20.15	38.93	32.33	36.47	14.57	56.07	14.70	18.92	35.05	135.28	50.97	27.27	8.67	31.11	8.71	5.43
10	8	36.47	36.10	32.33	36.47	13.22	15.08	14.70	18.92	51.43	37.17	50.97	27.27	11.94	8.83	8.71	5.43
10	13	34.05	36.10	32.33	36.47	10.92	15.08	14.70	18.92	29.65	37.17	50.97	27.27	8.19	8.83	8.71	5.43
10	18	20.76	36.10	32.33	36.47	19.36	15.08	14.70	18.92	31.46	37.17	50.97	27.27	6.84	8.83	8.71	5.43
10	23	50.00	36.10	32.33	36.47	12.58	15.08	14.70	18.92	28.18	37.17	50.97	27.27	3.08	8.83	8.71	5.43
10	28	18.88	30.41	32.33	36.47	6.96	13.67	14.70	18.92	26.05	26.68	50.97	27.27	2.44	2.86	8.71	5.43
11	2	34.39	30.41	23.07	36.47	18.32	13.67	12.08	18.92	27.27	26.68	26.49	27.27	3.32	2.86	3.57	5.43
11	7	37.76	30.41	23.07	36.47	18.92	13.67	12.08	18.92	25.72	26.68	26.49	27.27	3.10	2.86	3.57	5.43
11	12	20.13	21.55	23.07	16.88	7.30	9.25	12.08	7.72	28.23	25.02	26.49	27.27	4.14	2.91	3.57	5.43
11	17	14.68	21.55	23.07	16.88	7.59	9.25	12.08	7.72	21.04	25.02	26.49	27.27	1.93	2.91	3.57	5.43
11	22	13.08	14.94	23.07	16.88	7.35	9.18	12.08	7.72	26.20	26.56	26.49	27.27	3.90	4.61	3.57	5.43
11	27	19.29	14.94	23.07	16.88	13.51	9.18	12.08	7.72	29.50	26.56	26.49	27.27	5.75	4.61	3.57	5.43
12	2	12.44	14.94	10.99	16.88	6.68	9.18	7.03	7.72	23.97	26.56	23.76	27.27	4.18	4.61	4.41	5.43
12	7	12.28	8.95	10.99	16.88	11.89	7.85	7.03	7.72	31.83	26.65	23.76	27.27	5.22	5.11	4.41	5.43
12	12	6.50	8.95	10.99	16.88	6.82	7.85	7.03	7.72	24.38	26.65	23.76	27.27	6.98	5.11	4.41	5.43
12	17	8.07	8.95	10.99	16.88	4.85	7.85	7.03	7.72	23.73	26.65	23.76	27.27	3.15	5.11	4.41	2.55
12	22	16.88	9.94	10.99	16.88	7.13	4.89	7.03	7.72	19.27	19.61	23.76	19.27	3.12	2.92	4.41	2.55
12	27	7.46	9.94	10.99	16.88	3.46	4.89	7.03	7.72	19.66	19.61	23.76	19.27	3.10	2.92	4.41	2.55

자료 : 저자 작성

▣ 부록 19 : 적용지점의 관리기간별 기준유량

부표 5 | 적용지점의 관리기간별 기준유량

(단위 : ㎥/sec)

일자		한강(한강대교)				낙동강(진동)				금강(금강교)				영산강(나주대교)				섬진강(송정)			
월	일	5일	절기별	월별	계절별	5일	절기별	월별	계절별	5일	절기별	월별	계절별	5일	절기별	월별	계절별	5일	절기별	월별	계절별
1	1	198.7	184.6	215.5	216.7	133.5	138.7	129.0	142.1	137.9	100.2	88.0	67.2	16.6	37.1	19.8	18.4	31.4	30.0	23.3	25.4
1	6	220.6	218.8	215.5	216.7	113.1	128.6	129.0	142.1	136.0	95.7	88.0	67.2	23.6	21.2	19.8	18.4	21.3	22.4	23.3	25.4
1	11	225.4	218.8	215.5	216.7	130.2	128.6	129.0	142.1	83.0	95.7	88.0	67.2	18.4	21.2	19.8	18.4	20.7	22.4	23.3	25.4
1	16	199.0	218.8	215.5	216.7	149.5	128.6	129.0	142.1	61.0	95.7	88.0	67.2	24.5	21.2	19.8	18.4	25.1	22.4	23.3	25.4
1	21	200.7	213.2	215.5	216.7	124.2	123.1	129.0	142.1	60.6	60.8	88.0	67.2	14.8	20.9	19.8	18.4	22.5	21.7	23.3	25.4
1	26	245.7	213.2	215.5	216.7	124.3	123.1	129.0	142.1	56.1	60.8	88.0	67.2	20.7	20.9	19.8	18.4	19.1	21.7	23.3	25.4
1	31	190.6	213.2	215.5	216.7	113.5	123.1	129.0	142.1	65.8	60.8	88.0	67.2	26.2	20.9	19.8	18.4	24.9	21.7	23.3	25.4
2	5	224.4	220.1	218.0	216.7	130.3	134.7	129.9	142.1	65.5	63.8	62.2	67.2	26.4	22.1	25.6	18.4	24.2	23.4	25.2	25.4
2	10	268.5	220.1	218.0	216.7	133.4	134.7	129.9	142.1	66.8	63.8	62.2	67.2	20.6	22.1	25.6	18.4	21.4	23.4	25.2	25.4
2	15	192.3	220.1	218.0	216.7	142.7	134.7	129.9	142.1	58.0	63.8	62.2	67.2	20.5	22.1	25.6	18.4	23.9	23.4	25.2	25.4
2	20	216.8	235.5	218.0	216.7	110.2	131.9	129.9	142.1	58.3	56.5	62.2	67.2	28.4	29.5	25.6	18.4	25.3	27.0	25.2	25.4
2	25	232.8	235.5	218.0	216.7	152.2	131.9	129.9	142.1	53.6	56.5	62.2	67.2	31.2	29.5	25.6	18.4	31.5	27.0	25.2	25.4
3	2	240.0	235.5	246.8	313.1	134.3	131.9	146.7	142.1	59.4	56.5	68.0	67.2	28.0	29.5	33.0	18.4	29.6	27.0	25.5	25.4
3	7	228.2	250.2	246.8	313.1	186.0	160.0	146.7	142.1	67.2	69.2	68.0	67.2	41.6	36.5	33.0	38.1	24.9	26.4	25.5	25.4
3	12	300.0	250.2	246.8	313.1	148.4	160.0	146.7	142.1	60.5	69.2	68.0	67.2	32.7	36.5	33.0	38.1	22.2	26.4	25.5	25.4
3	17	243.3	250.2	246.8	313.1	142.1	160.0	146.7	142.1	89.6	69.2	68.0	67.2	35.3	36.5	33.0	38.1	28.5	26.4	25.5	25.4
3	22	213.4	241.4	246.8	313.1	137.5	141.0	146.7	142.1	77.9	69.5	68.0	67.2	27.7	29.3	33.0	38.1	22.1	25.2	25.5	25.4
3	27	247.1	241.4	246.8	313.1	130.8	141.0	146.7	142.1	57.6	69.5	68.0	67.2	33.8	29.3	33.0	38.1	24.7	25.2	25.5	25.4
4	1	255.7	241.4	337.7	313.1	158.3	141.0	256.9	142.1	62.9	69.5	63.5	67.2	27.4	29.3	35.9	38.1	26.0	25.2	33.3	25.4
4	6	335.4	340.1	337.7	313.1	225.8	230.9	256.9	194.6	72.3	65.6	63.5	67.2	38.6	34.3	35.9	38.1	33.7	31.6	33.3	25.4
4	11	337.9	340.1	337.7	313.1	246.7	230.9	256.9	194.6	59.4	65.6	63.5	67.2	33.8	34.3	35.9	38.1	33.5	31.6	33.3	25.4
4	16	354.3	340.1	337.7	313.1	231.2	230.9	256.9	194.6	61.8	65.6	63.5	67.2	31.2	34.3	35.9	38.1	28.5	31.6	33.3	25.4
4	21	344.6	322.3	337.7	313.1	263.0	294.8	256.9	194.6	62.1	66.0	63.5	67.2	35.4	37.6	35.9	38.1	33.7	34.1	33.3	25.4
4	26	398.3	322.3	337.7	313.1	416.0	294.8	256.9	194.6	62.5	66.0	63.5	67.2	49.0	37.6	35.9	38.1	44.6	34.1	33.3	31.5
5	1	231.2	322.3	355.5	313.1	224.8	294.8	291.7	194.6	77.3	66.0	88.1	67.2	27.7	37.6	45.0	38.1	25.4	34.1	37.6	31.5
5	6	408.7	422.0	355.5	313.1	331.5	330.2	291.7	194.6	77.1	84.9	88.1	67.2	37.0	38.4	45.0	38.1	35.0	40.0	37.6	31.5
5	11	419.0	422.0	355.5	313.1	417.4	330.2	291.7	194.6	91.7	84.9	88.1	91.7	41.0	38.4	45.0	38.1	54.8	40.0	37.6	31.5
5	16	438.4	422.0	355.5	313.1	241.7	330.2	291.7	194.6	85.9	84.9	88.1	91.7	37.2	38.4	45.0	38.1	30.2	40.0	37.6	31.5
5	21	328.5	317.3	355.5	313.1	187.9	299.1	291.7	194.6	96.6	96.7	88.1	91.7	34.3	52.8	45.0	38.1	29.9	35.3	37.6	31.5
5	26	333.8	317.3	355.5	313.1	245.4	299.1	291.7	194.6	99.2	96.7	88.1	91.7	93.8	52.8	45.0	38.1	45.8	35.3	37.6	31.5
5	31	287.0	317.3	355.5	313.1	468.0	299.1	291.7	194.6	93.4	96.7	88.1	91.7	36.2	52.8	45.0	38.1	31.1	35.3	37.6	31.5
6	5	382.9	317.3	322.8	835.9	268.9	299.1	410.3	194.6	104.9	96.7	117.7	91.7	35.0	52.8	58.4	38.1	27.7	35.3	56.8	31.5
6	10	238.5	301.7	322.8	835.9	222.2	289.6	410.3	194.6	98.2	126.3	117.7	91.7	34.2	48.8	58.4	38.1	21.3	34.1	56.8	31.5
6	15	287.8	301.7	322.8	835.9	266.6	289.6	410.3	194.6	102.3	126.3	117.7	91.7	46.3	48.8	58.4	38.1	37.8	34.1	56.8	31.5
6	20	388.8	301.7	322.8	835.9	714.5	289.6	410.3	448.5	177.7	126.3	117.7	137.9	70.5	48.8	58.4	89.0	66.4	34.1	56.8	135.6
6	25	349.4	529.1	322.8	835.9	593.7	604.3	410.3	448.5	123.8	151.3	117.7	137.9	125.1	118.6	58.4	89.0	157.3	154.6	56.8	135.6
6	30	514.0	529.1	322.8	835.9	455.5	604.3	410.3	448.5	182.4	151.3	117.7	137.9	167.6	118.6	58.4	89.0	90.2	154.6	56.8	135.6
7	5	734.4	529.1	1,033.5	835.9	656.3	604.3	777.5	448.5	238.4	151.3	249.5	137.9	134.0	118.6	142.2	89.0	270.5	154.6	212.8	135.6
7	10	1,265.1	1,007.3	1,033.5	835.9	1,373.6	1,057.7	777.5	448.5	233.1	279.7	249.5	137.9	199.1	157.8	142.2	89.0	362.0	271.8	212.8	135.6
7	15	1,066.5	1,007.3	1,033.5	835.9	1,030.6	1,057.7	777.5	448.5	385.4	279.7	249.5	137.9	159.9	157.8	142.2	89.0	326.5	271.8	212.8	135.6
7	20	1,055.5	1,007.3	1,033.5	835.9	760.8	1,057.7	777.5	448.5	210.3	279.7	249.5	137.9	95.0	157.8	142.2	89.0	135.6	271.8	212.8	135.6
7	25	1,558.0	1,144.6	1,033.5	835.9	473.5	401.4	777.5	448.5	233.7	245.2	249.5	137.9	113.2	120.8	142.2	89.0	107.4	182.1	212.8	135.6
7	30	627.7	1,144.6	1,033.5	835.9	319.7	401.4	777.5	448.5	176.6	245.2	249.5	137.9	114.5	120.8	142.2	89.0	202.3	182.1	212.8	135.6
8	4	1,571.3	1,144.6	1,134.9	835.9	445.2	401.4	739.6	448.5	346.6	245.2	192.1	137.9	124.9	120.8	140.9	89.0	328.7	182.1	301.3	135.6
8	9	1,447.0	1,289.1	1,134.9	835.9	1,351.8	1,023.5	739.6	448.5	159.6	174.2	192.1	137.9	71.1	155.5	140.9	89.0	350.4	343.0	301.3	135.6
8	14	874.1	1,289.1	1,134.9	835.9	896.8	1,023.5	739.6	448.5	185.8	174.2	192.1	137.9	182.5	155.5	140.9	89.0	412.5	343.0	301.3	135.6
8	19	1,282.1	1,289.1	1,134.9	835.9	855.7	1,023.5	739.6	448.5	148.5	174.2	192.1	137.9	251.1	155.5	140.9	89.0	225.8	343.0	301.3	135.6
8	24	1,036.0	858.1	1,134.9	835.9	668.4	764.5	739.6	448.5	160.4	205.9	192.1	137.9	102.8	128.1	140.9	89.0	225.1	266.8	301.3	135.6
8	29	692.6	858.1	1,134.9	835.9	841.5	764.5	739.6	448.5	194.4	205.9	192.1	137.9	90.4	128.1	140.9	89.0	348.4	266.8	301.3	135.6

자료 : 저자 작성

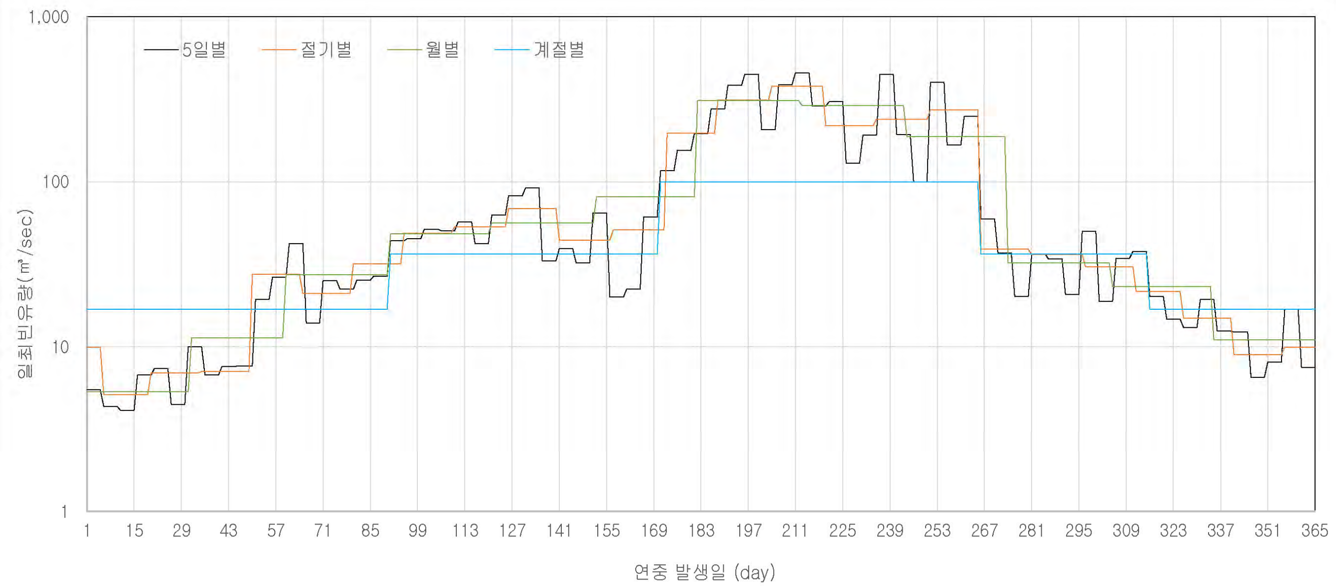
(계속)

일자		한강(한강대교)				낙동강(진동)				금강(금강교)				영산강(나주대교)				섬진강(송정)			
월	일	5일	절기별	월별	계절별	5일	절기별	월별	계절별	5일	절기별	월별	계절별	5일	절기별	월별	계절별	5일	절기별	월별	계절별
9	3	746.4	858.1	539.0	352.6	786.2	764.5	758.3	448.5	278.0	205.9	179.5	137.9	167.6	128.1	111.5	89.0	218.6	266.8	243.3	135.6
9	8	583.9	619.6	539.0	352.6	448.5	857.5	758.3	448.5	150.8	180.7	179.5	137.9	100.2	116.6	111.5	89.0	172.8	269.4	243.3	135.6
9	13	776.6	619.6	539.0	352.6	1,305.3	857.5	758.3	448.5	238.3	180.7	179.5	137.9	181.4	116.6	111.5	89.0	497.2	269.4	243.3	135.6
9	18	498.4	619.6	539.0	352.6	818.7	857.5	758.3	448.5	153.1	180.7	179.5	137.9	68.2	116.6	111.5	89.0	138.2	269.4	243.3	135.6
9	23	279.5	296.5	539.0	352.6	350.9	495.6	758.3	448.5	103.0	93.3	179.5	91.7	38.1	98.1	111.5	89.0	156.1	172.3	243.3	135.6
9	28	246.1	296.5	539.0	352.6	313.2	495.6	758.3	448.5	95.9	93.3	179.5	91.7	167.3	98.1	111.5	89.0	215.9	172.3	243.3	135.6
10	3	363.9	296.5	278.9	352.6	822.8	495.6	282.1	448.5	81.1	93.3	93.5	91.7	89.0	98.1	53.7	89.0	144.8	172.3	75.2	135.6
10	8	208.9	256.7	278.9	352.6	194.6	180.4	282.1	142.1	80.1	95.1	93.5	91.7	36.0	34.2	53.7	29.0	50.0	45.0	75.2	31.5
10	13	283.4	256.7	278.9	352.6	179.3	180.4	282.1	142.1	110.6	95.1	93.5	91.7	37.3	34.2	53.7	29.0	48.4	45.0	75.2	31.5
10	18	295.2	256.7	278.9	352.6	167.1	180.4	282.1	142.1	95.4	95.1	93.5	91.7	29.0	34.2	53.7	29.0	36.9	45.0	75.2	31.5
10	23	285.9	256.7	278.9	352.6	164.0	180.4	282.1	142.1	94.0	95.1	93.5	91.7	29.1	34.2	53.7	29.0	36.5	45.0	75.2	31.5
10	28	249.3	273.8	278.9	352.6	144.6	149.9	282.1	142.1	101.2	93.3	93.5	91.7	26.7	24.8	53.7	29.0	27.6	29.9	75.2	31.5
11	2	254.9	273.8	242.5	352.6	146.7	149.9	136.5	142.1	84.4	93.3	84.8	91.7	22.1	24.8	36.0	29.0	27.5	29.9	36.9	31.5
11	7	234.0	273.8	242.5	352.6	143.8	149.9	136.5	142.1	92.3	93.3	84.8	91.7	22.9	24.8	36.0	29.0	31.1	29.9	36.9	31.5
11	12	265.2	246.1	242.5	352.6	143.0	131.4	136.5	142.1	72.4	86.3	84.8	91.7	32.3	34.8	36.0	29.0	72.7	45.3	36.9	31.5
11	17	255.3	246.1	242.5	352.6	111.7	131.4	136.5	142.1	95.3	86.3	84.8	91.7	45.8	34.8	36.0	38.1	29.8	45.3	36.9	31.5
11	22	194.2	237.1	242.5	352.6	126.1	137.0	136.5	142.1	74.2	78.9	84.8	67.2	47.2	47.9	36.0	38.1	37.4	26.1	36.9	31.5
11	27	218.5	237.1	242.5	352.6	145.0	137.0	136.5	142.1	87.5	78.9	84.8	67.2	48.1	47.9	36.0	38.1	22.8	26.1	36.9	25.4
12	2	298.8	237.1	230.7	230.7	140.0	137.0	138.7	142.1	74.9	78.9	78.3	67.2	48.4	47.9	48.0	38.1	18.2	26.1	26.1	25.4
12	7	267.6	240.7	230.7	230.7	127.5	136.1	138.7	142.1	65.0	77.9	78.3	67.2	48.2	48.3	48.0	38.1	27.1	26.9	26.1	25.4
12	12	256.7	240.7	230.7	230.7	154.5	136.1	138.7	142.1	74.0	77.9	78.3	67.2	48.2	48.3	48.0	38.1	29.9	26.9	26.1	25.4
12	17	197.8	240.7	230.7	230.7	126.3	136.1	138.7	142.1	94.7	77.9	78.3	67.2	48.5	48.3	48.0	38.1	23.6	26.9	26.1	25.4
12	22	176.9	184.6	230.7	230.7	130.8	138.7	138.7	142.1	90.6	100.2	78.3	67.2	46.0	37.1	48.0	38.1	29.6	30.0	26.1	25.4
12	27	178.1	184.6	230.7	230.7	151.8	138.7	138.7	142.1	72.2	100.2	78.3	67.2	48.7	37.1	48.0	38.1	29.1	30.0	26.1	25.4

자료 : 저자 작성

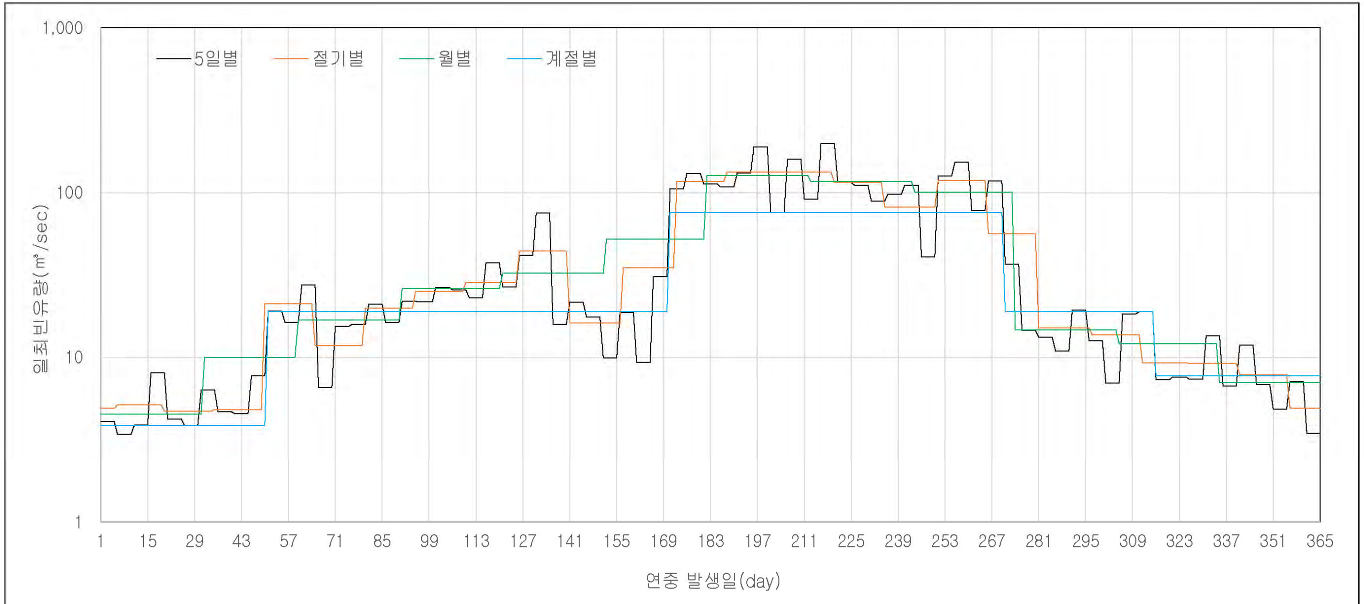
▣ 부록 20 : 분석지점의 관리기간별 기준유량

부도 64 | 분석지점의 관리기간별 기준유량(한강 소양강댐)



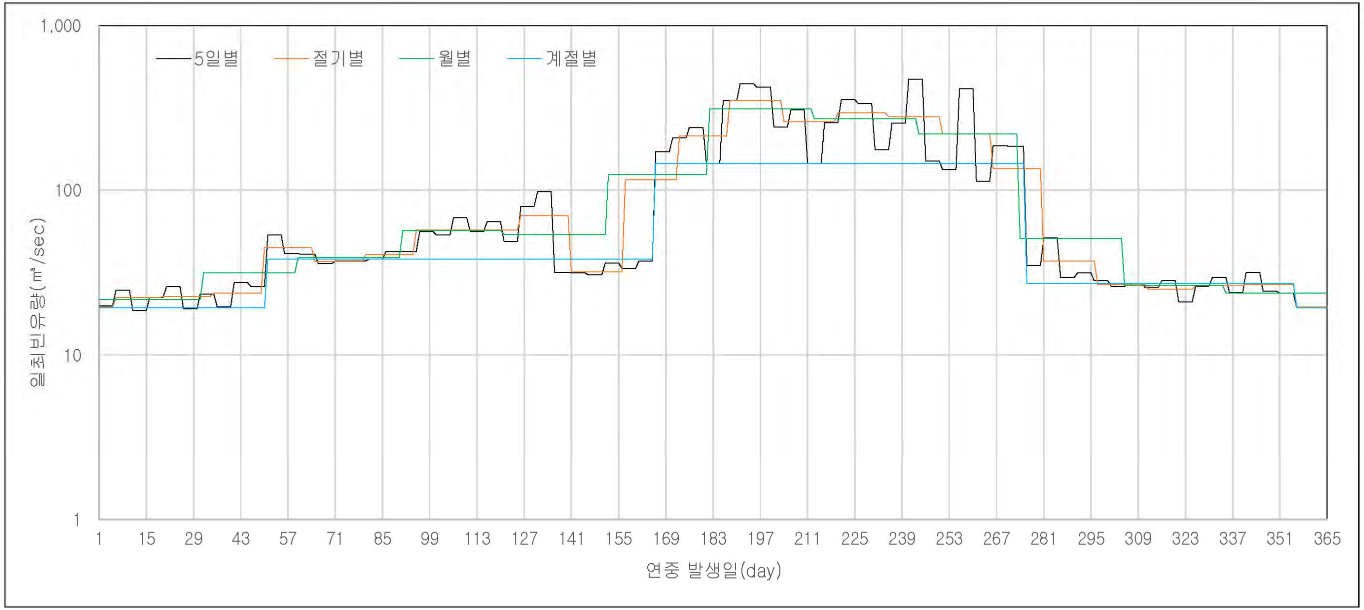
자료 : 저자 작성

부도 65 | 분석지점의 관리기간별 기준유량(낙동강 안동댐)



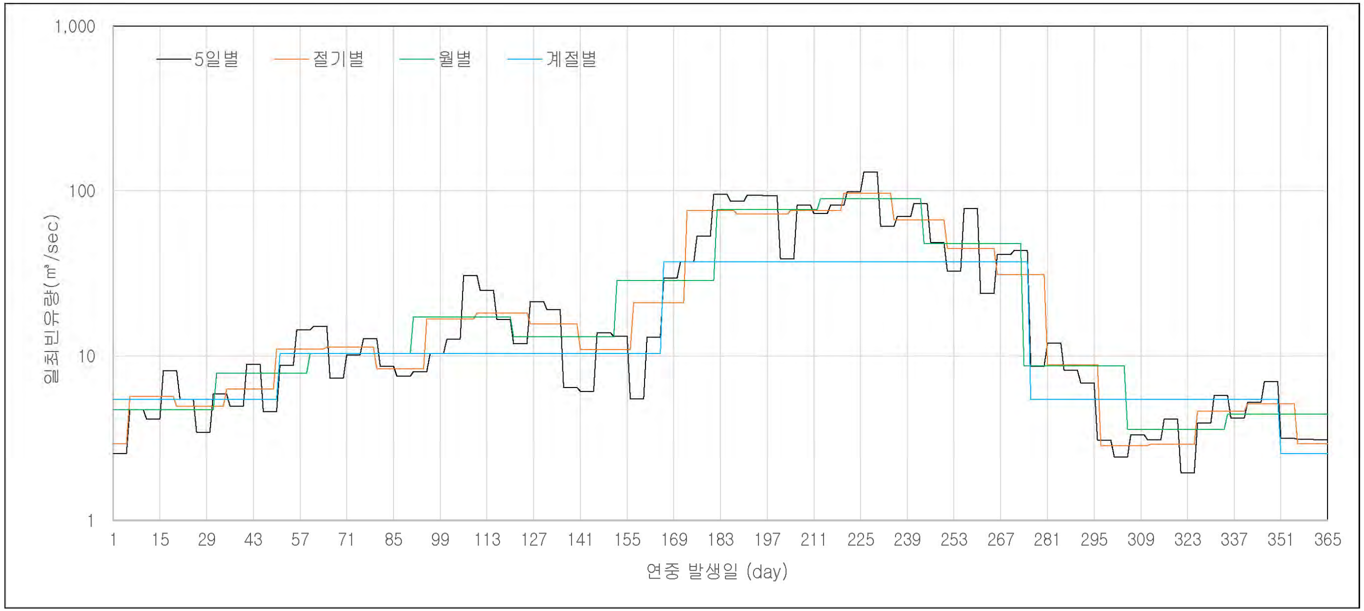
자료 : 저자 작성

부도 66 | 분석지점의 관리기간별 기준유량(금강 대청댐)



자료 : 저자 작성

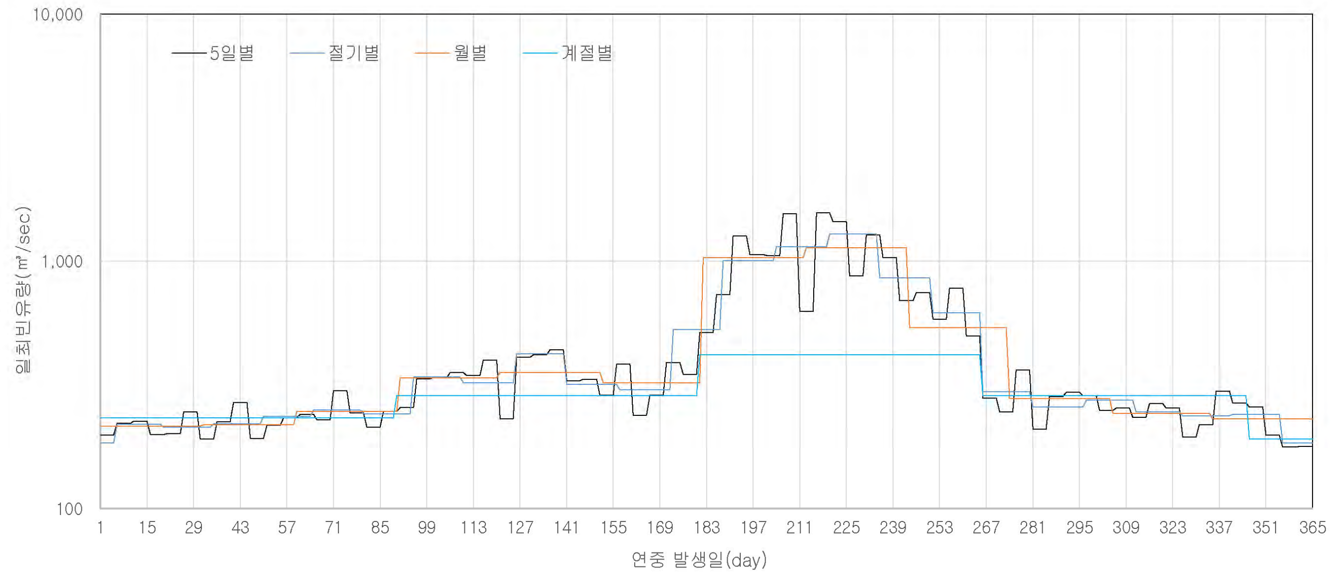
부도 67 | 분석지점의 관리기간별 기준유량(섬진강 섬진강댐)



자료 : 저자 작성

▣ 부록 21 : 적용지점의 관리기간별 기준유량

부도 68 | 적용지점의 관리기간별 기준유량(한강 한강대교)

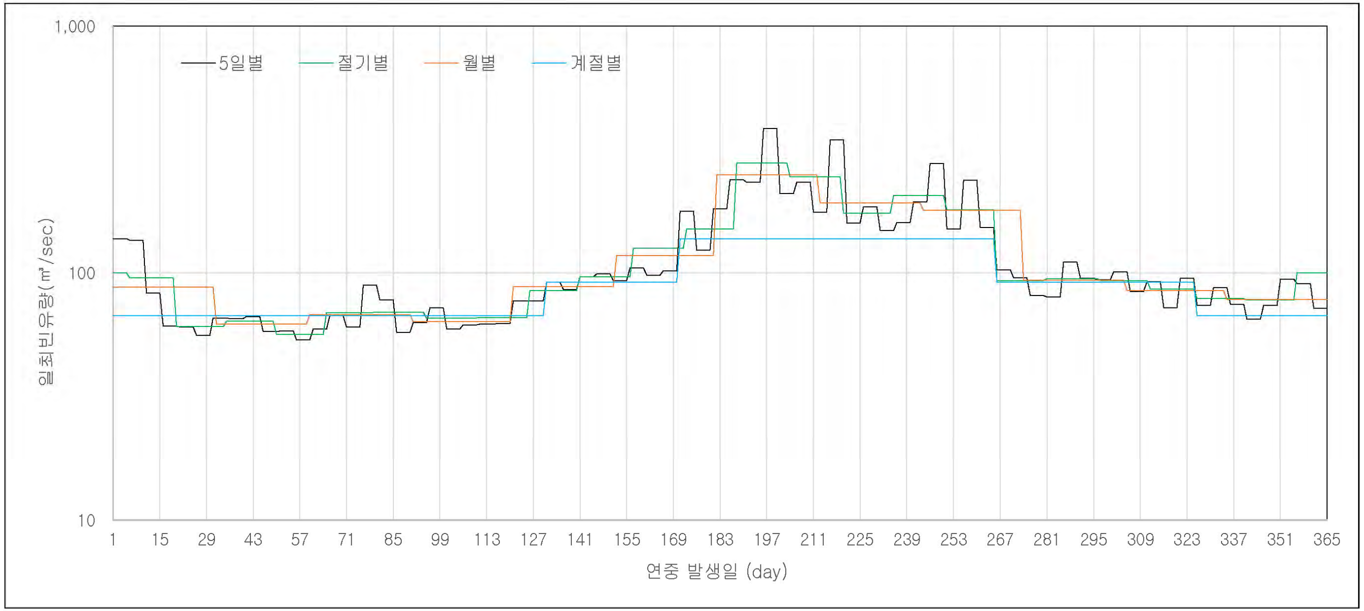


자료 : 저자 작성

부도 69 | 적용지점의 관리기간별 기준유량(낙동강 진동)

자료 : 저자 작성

부도 70 | 적용지점의 관리기간별 기준유량(금강 금강교)

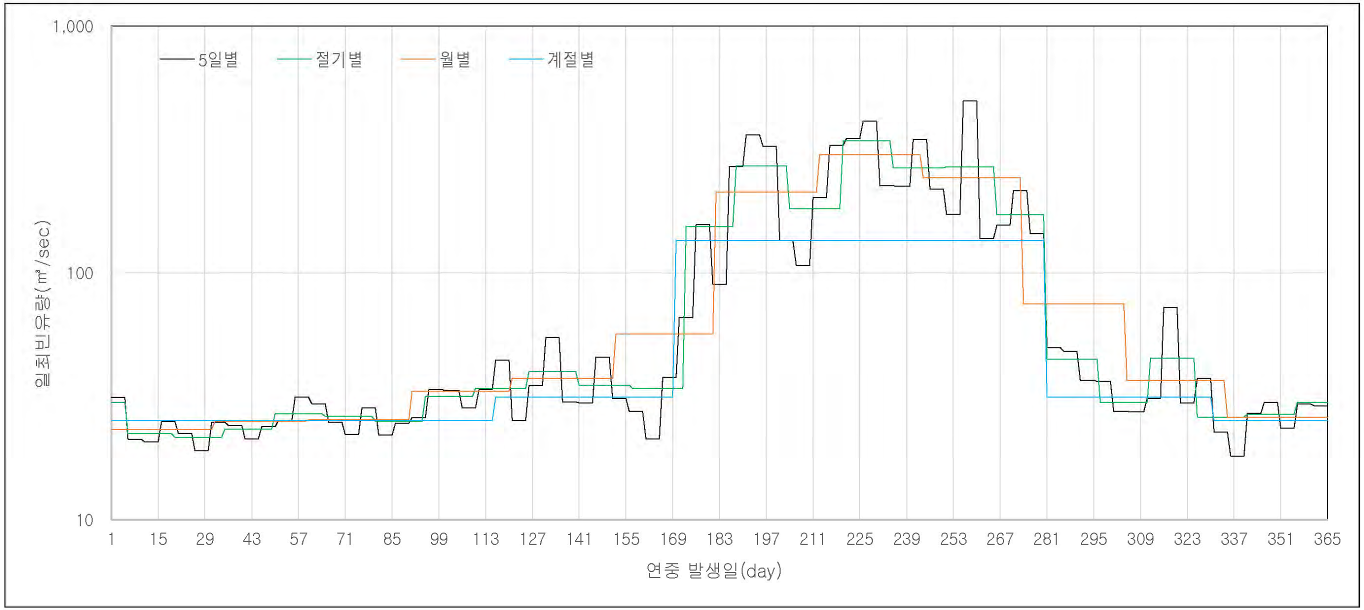


자료 : 저자 작성

부도 71 | 적용지점의 관리기간별 기준유량(영산강 나주대교)

자료 : 저자 작성

부도 72 | 적용지점의 관리기간별 기준유량(섬진강 송정)



자료 : 저자 작성

▣ 부록 22 : 분석지점의 빈도별 갈수량

부표 6 | 분석지점의 빈도별 갈수량(한강 소양강댐)

(단위 : ㎥/sec)

□ 10년 빈도 갈수량(=기준갈수량) 산정

m	x(355일 갈수량)	초과확률 $P(X>x)$	대수유량 $y=\log_{10}x$	$(y-\bar{y})^2$	$z=(y-\bar{y})/\sigma$	$F(z)$	$\|F(z)-P(X>x)\|$	재현기간 (년)
1	0.067	0.0370	−1.1739	1.6969	−2.5778	0.0050	0.0321	201.1432
2	0.100	0.0741	−1.0000	1.2740	−2.2336	0.0128	0.0613	78.4066
3	0.392	0.1111	−0.4067	0.2867	−1.0596	0.1447	0.0336	6.9123
4	0.500	0.1481	−0.3010	0.1847	−0.8504	0.1975	0.0494	5.0622
5	0.585	0.1852	−0.2328	0.1307	−0.7155	0.2371	0.0520	4.2167
6	0.707	0.2222	−0.1506	0.0780	−0.5527	0.2902	0.0680	3.4455
7	0.900	0.2593	−0.0458	0.0304	−0.3453	0.3649	0.1057	2.7402
8	0.971	0.2963	−0.0128	0.0200	−0.2800	0.3897	0.0934	2.5659
9	1.000	0.3333	0.0000	0.0166	−0.2547	0.3995	0.0661	2.5033
10	1.000	0.3704	0.0000	0.0166	−0.2547	0.3995	0.0291	2.5033
11	1.008	0.4074	0.0035	0.0157	−0.2479	0.4021	0.0053	2.4869
12	1.400	0.4444	0.1461	0.0003	0.0344	0.5137	0.0693	1.9465
13	1.448	0.4815	0.1608	0.0010	0.0634	0.5253	0.0438	1.9037
14	1.661	0.5185	0.2204	0.0084	0.1814	0.5720	0.0534	1.7484
15	1.743	0.5556	0.2413	0.0127	0.2228	0.5881	0.0326	1.7003
16	2.100	0.5926	0.3222	0.0374	0.3829	0.6491	0.0565	1.5406
17	2.200	0.6296	0.3424	0.0457	0.4229	0.6638	0.0342	1.5064
18	2.200	0.6667	0.3424	0.0457	0.4229	0.6638	0.0029	1.5064
19	2.600	0.7037	0.4150	0.0819	0.5665	0.7145	0.0108	1.3997
20	2.803	0.7407	0.4476	0.1017	0.6311	0.7360	0.0047	1.3587
21	3.900	0.7778	0.5911	0.2138	0.9149	0.8199	0.0421	1.2197
22	3.900	0.8148	0.5911	0.2138	0.9149	0.8199	0.0051	1.2197
23	4.300	0.8519	0.6335	0.2548	0.9988	0.8411	0.0108	1.1890
24	4.445	0.8889	0.6479	0.2695	1.0273	0.8479	0.0410	1.1794
25	4.900	0.9259	0.6902	0.3153	1.1111	0.8667	0.0592	1.1538
26	7.500	0.9630	0.8751	0.5570	1.4769	0.9302	0.0328	1.0751
평 균	2.0896		0.1287	0.2273		0.5229	0.0421	
표 준 편 차	1.7887		0.5053					
개수/최대값	26	Dn=	0.266718			Dmax=	0.1057	
재 현 기 간	2	5	**10**	20	30	50	100	
확 률 유 량	1.3450	0.5052	**0.3028**	0.1984	0.1592	0.1233	0.0898	

□ 10년 빈도 7일 갈수량 산정

m	x(연속 7일 최소유량)	초과확률 $P(X>x)$	대수유량 $y=\log_{10}x$	$(y-\bar{y})^2$	$z=(y-\bar{y})/\sigma$	$F(z)$	$\|F(z)-P(X>x)\|$	재현기간 (년)
1	0.010	0.0323	−2.0000	1.5627	−1.9633	0.0248	0.0075	40.3097
2	0.017	0.0645	−1.7696	1.0396	−1.6013	0.0547	0.0099	18.2979
3	0.022	0.0968	−1.6576	0.8238	−1.4255	0.0770	0.0198	12.9855
4	0.030	0.1290	−1.5229	0.5975	−1.2139	0.1124	0.0166	8.8979
5	0.030	0.1613	−1.5229	0.5975	−1.2139	0.1124	0.0489	8.8979
6	0.051	0.1935	−1.2924	0.2943	−0.8520	0.1971	0.0036	5.0735
7	0.062	0.2258	−1.2076	0.2095	−0.7188	0.2361	0.0103	4.2349
8	0.100	0.2581	−1.0000	0.0625	−0.3927	0.3473	0.0892	2.8797
9	0.100	0.2903	−1.0000	0.0625	−0.3927	0.3473	0.0569	2.8797
10	0.100	0.3226	−1.0000	0.0625	−0.3927	0.3473	0.0247	2.8797
11	0.100	0.3548	−1.0000	0.0625	−0.3927	0.3473	0.0076	2.8797
12	0.100	0.3871	−1.0000	0.0625	−0.3927	0.3473	0.0398	2.8797
13	0.100	0.4194	−1.0000	0.0625	−0.3927	0.3473	0.0721	2.8797
14	0.180	0.4516	−0.7447	0.0000	0.0082	0.5033	0.0516	1.9871
15	0.180	0.4839	−0.7447	0.0000	0.0082	0.5033	0.0194	1.9871
16	0.200	0.5161	−0.6990	0.0026	0.0800	0.5319	0.0158	1.8801
17	0.200	0.5484	−0.6990	0.0026	0.0800	0.5319	0.0165	1.8801
18	0.200	0.5806	−0.6990	0.0026	0.0800	0.5319	0.0488	1.8801
19	0.216	0.6129	−0.6655	0.0071	0.1325	0.5527	0.0602	1.8093
20	0.228	0.6452	−0.6421	0.0116	0.1694	0.5673	0.0779	1.7629
21	0.300	0.6774	−0.5229	0.0516	0.3566	0.6393	0.0381	1.5642
22	0.300	0.7097	−0.5229	0.0516	0.3566	0.6393	0.0704	1.5642
23	0.400	0.7419	−0.3979	0.1239	0.5528	0.7098	0.0321	1.4088
24	0.500	0.7742	−0.3010	0.2015	0.7050	0.7596	0.0146	1.3165
25	0.600	0.8065	−0.2218	0.2789	0.8294	0.7965	0.0099	1.2554
26	0.664	0.8387	−0.1778	0.3273	0.8985	0.8155	0.0232	1.2262
27	1.500	0.8710	0.1761	0.8575	1.4543	0.9271	0.0561	1.0787
28	2.000	0.9032	0.3010	1.1045	1.6505	0.9506	0.0474	1.0520
29	2.652	0.9355	0.4236	1.3771	1.8430	0.9673	0.0319	1.0338
30	4.100	0.9677	0.6128	1.8570	2.1402	0.9838	0.0161	1.0164
평 균	0.5081		−0.7499					
표 준 편 차	0.9115		0.6367					
개수/최대값	30	Dn=	0.248301			Dmax=	0.0892	
재 현 기 간	2	5	**10**	20	30	50	100	
확 률 유 량	0.1779	0.0518	**0.0272**	0.0159	0.0121	0.0088	0.0059	

자료 : 저자 작성

부표 7 | 분석지점의 빈도별 갈수량(낙동강 안동댐)

(단위 : ㎥/sec)

□ 10년 빈도 갈수량(=기준갈수량) 산정

m	x(355일 갈수량)	초과확률 $P(X>x)$	대수유량 $y=\log_{10}x$	$(y-\bar{y})^2$	$z=(y-\bar{y})/\sigma$	$F(z)$	$\|F(z)-P(X>x)\|$	재현기간 (년)
1	0.059	0.0400	−1.2291	1.3708	−2.3355	0.0098	0.0302	102.4825
2	0.100	0.0800	−1.0000	0.8867	−1.8784	0.0302	0.0498	33.1552
3	0.100	0.1200	−1.0000	0.8867	−1.8784	0.0302	0.0898	33.1552
4	0.306	0.1600	−0.5143	0.2079	−0.9095	0.1815	0.0215	5.5084
5	0.330	0.2000	−0.4815	0.1791	−0.8441	0.1993	0.0007	5.0174
6	0.500	0.2400	−0.3010	0.0589	−0.4841	0.3141	0.0741	3.1832
7	0.600	0.2800	−0.2218	0.0267	−0.3262	0.3721	0.0921	2.6871
8	0.700	0.3200	−0.1549	0.0093	−0.1926	0.4236	0.1036	2.3606
9	0.800	0.3600	−0.0969	0.0015	−0.0769	0.4693	0.1093	2.1307
10	0.870	0.4000	−0.0605	0.0000	−0.0043	0.4983	0.0983	2.0068
11	0.981	0.4400	−0.0083	0.0025	0.0998	0.5397	0.0997	1.8528
12	1.000	0.4800	0.0000	0.0034	0.1164	0.5463	0.0663	1.8304
13	1.010	0.5200	0.0043	0.0039	0.1250	0.5497	0.0297	1.8191
14	1.300	0.5600	0.1139	0.0297	0.3437	0.6345	0.0745	1.5762
15	1.400	0.6000	0.1461	0.0418	0.4079	0.6583	0.0583	1.5190
16	1.600	0.6400	0.2041	0.0689	0.5235	0.6997	0.0597	1.4292
17	1.778	0.6800	0.2499	0.0950	0.6149	0.7307	0.0507	1.3685
18	2.000	0.7200	0.3010	0.1291	0.7169	0.7633	0.0433	1.3101
19	2.000	0.7600	0.3010	0.1291	0.7169	0.7633	0.0033	1.3101
20	2.500	0.8000	0.3979	0.2082	0.9102	0.8186	0.0186	1.2215
21	3.000	0.8400	0.4771	0.2867	1.0681	0.8573	0.0173	1.1665
22	3.000	0.8800	0.4771	0.2867	1.0681	0.8573	0.0227	1.1665
23	3.000	0.9200	0.4771	0.2867	1.0681	0.8573	0.0627	1.1665
24	3.300	0.9600	0.5185	0.3328	1.1507	0.8751	0.0849	1.1428
평 균	1.3431		−0.0583	0.2305		0.5283	0.0567	
표준편차	1.0199		0.5013					
개수/최대값	24	Dn=	0.277609			Dmax=	0.1093	
재현기간	2	5	10	20	30	50	100	
확률유량	0.8743	0.3309	**0.1992**	0.1309	0.1053	0.0817	0.0596	

□ 10년 빈도 7일 갈수량 산정

m	x(연속 7일 최소유량)	초과확률 $P(X>x)$	대수유량 $y=\log_{10}x$	$(y-\bar{y})^2$	$z=(y-\bar{y})/\sigma$	$F(z)$	$\|F(z)-P(X>x)\|$	재현기간 (년)
1	0.001	0.0323	−3.0000	4.1606	−2.4197	0.0078	0.0245	128.7529
2	0.002	0.0645	−2.6990	3.0232	−2.0626	0.0196	0.0449	51.0837
3	0.009	0.0968	−2.0458	1.1783	−1.2877	0.0989	0.0021	10.1088
4	0.014	0.1290	−1.8539	0.7986	−1.0601	0.1446	0.0155	6.9178
5	0.017	0.1613	−1.7696	0.6550	−0.9601	0.1685	0.0072	5.9342
6	0.017	0.1935	−1.7696	0.6550	−0.9601	0.1685	0.0250	5.9342
7	0.020	0.2258	−1.6990	0.5457	−0.8763	0.1904	0.0354	5.2514
8	0.028	0.2581	−1.5528	0.3512	−0.7030	0.2410	0.0170	4.1488
9	0.051	0.2903	−1.2924	0.1103	−0.3941	0.3468	0.0564	2.8838
10	0.097	0.3226	−1.0132	0.0028	−0.0629	0.4749	0.1524	2.1055
11	0.100	0.3548	−1.0000	0.0016	−0.0472	0.4812	0.1264	2.0782
12	0.100	0.3871	−1.0000	0.0016	−0.0472	0.4812	0.0941	2.0782
13	0.100	0.4194	−1.0000	0.0016	−0.0472	0.4812	0.0618	2.0782
14	0.100	0.4516	−1.0000	0.0016	−0.0472	0.4812	0.0296	2.0782
15	0.100	0.4839	−1.0000	0.0016	−0.0472	0.4812	0.0027	2.0782
16	0.100	0.5161	−1.0000	0.0016	−0.0472	0.4812	0.0349	2.0782
17	0.100	0.5484	−1.0000	0.0016	−0.0472	0.4812	0.0672	2.0782
18	0.100	0.5806	−1.0000	0.0016	−0.0472	0.4812	0.0995	2.0782
19	0.100	0.6129	−1.0000	0.0016	−0.0472	0.4812	0.1317	2.0782
20	0.136	0.6452	−0.8665	0.0088	0.1112	0.5443	0.1009	1.8373
21	0.345	0.6774	−0.4622	0.2481	0.5908	0.7227	0.0453	1.3837
22	0.700	0.7097	−0.1549	0.6486	0.9553	0.8303	0.1206	1.2044
23	0.840	0.7419	−0.0757	0.7824	1.0493	0.8530	0.1110	1.1724
24	1.000	0.7742	0.0000	0.9221	1.1391	0.8727	0.0985	1.1459
25	1.000	0.8065	0.0000	0.9221	1.1391	0.8727	0.0662	1.1459
26	1.000	0.8387	0.0000	0.9221	1.1391	0.8727	0.0340	1.1459
27	1.000	0.8710	0.0000	0.9221	1.1391	0.8727	0.0017	1.1459
28	1.000	0.9032	0.0000	0.9221	1.1391	0.8727	0.0306	1.1459
29	1.400	0.9355	0.1461	1.2241	1.3124	0.9053	0.0302	1.1046
30	2.000	0.9677	0.3010	1.5908	1.4962	0.9327	0.0350	1.0722
평 균	0.3859		−0.9602					
표준편차	0.5229		0.8430					
개수/최대값	30	Dn=	0.248301			Dmax=	0.1524	
재현기간	2	5	10	20	30	50	100	
확률유량	0.1096	0.0214	**0.0091**	0.0045	0.0031	0.0020	0.0012	

자료 : 저자 작성

부표 8 | 분석지점의 빈도별 갈수량(금강 대청댐)

(단위 : ㎥/sec)

□ 10년 빈도 갈수량(=기준갈수량) 산정

m	x(355일 갈수량)	초과확률 $P(X>x)$	대수유량 $y=\log_{10}x$	$(y-\bar{y})^2$	$z=(y-\bar{y})/\sigma$	$F(z)$	$\|F(z)-P(X>x)\|$	재현기간 (년)
1	1.000	0.0323	0.0000	0.7154	-3.0543	0.0011	0.0311	886.6267
2	2.000	0.0645	0.3010	0.2968	-1.9673	0.0246	0.0399	40.6899
3	2.000	0.0968	0.3010	0.2968	-1.9673	0.0246	0.0722	40.6899
4	2.900	0.1290	0.4624	0.1470	-1.3846	0.0831	0.0459	12.0345
5	3.800	0.1613	0.5798	0.0708	-0.9607	0.1684	0.0071	5.9396
6	4.000	0.1935	0.6021	0.0594	-0.8802	0.1894	0.0042	5.2807
7	4.100	0.2258	0.6128	0.0543	-0.8415	0.2000	0.0258	4.9991
8	4.400	0.2581	0.6435	0.0410	-0.7307	0.2325	0.0256	4.3017
9	4.700	0.2903	0.6721	0.0302	-0.6273	0.2652	0.0251	3.7703
10	4.862	0.3226	0.6868	0.0253	-0.5742	0.2829	0.0397	3.5345
11	5.000	0.3548	0.6990	0.0216	-0.5303	0.2980	0.0569	3.3561
12	5.265	0.3871	0.7214	0.0155	-0.4493	0.3266	0.0605	3.0617
13	5.600	0.4194	0.7482	0.0095	-0.3525	0.3622	0.0571	2.7608
14	8.000	0.4516	0.9031	0.0033	0.2068	0.5819	0.1303	1.7184
15	9.089	0.4839	0.9585	0.0127	0.4070	0.6580	0.1741	1.5198
16	9.200	0.5161	0.9638	0.0139	0.4260	0.6650	0.1488	1.5039
17	9.250	0.5484	0.9661	0.0145	0.4345	0.6680	0.1197	1.4969
18	9.700	0.5806	0.9868	0.0199	0.5090	0.6946	0.1140	1.4396
19	9.873	0.6129	0.9944	0.0221	0.5367	0.7043	0.0914	1.4199
20	10.000	0.6452	1.0000	0.0238	0.5568	0.7112	0.0660	1.4062
21	11.835	0.6774	1.0732	0.0517	0.8210	0.7942	0.1168	1.2592
22	12.770	0.7097	1.1062	0.0678	0.9402	0.8265	0.1168	1.2100
23	12.794	0.7419	1.1070	0.0682	0.9432	0.8272	0.0853	1.2089
24	14.050	0.7742	1.1477	0.0911	1.0900	0.8622	0.0880	1.1599
25	14.059	0.8065	1.1480	0.0913	1.0911	0.8624	0.0559	1.1596
26	15.000	0.8387	1.1761	0.1091	1.1927	0.8835	0.0448	1.1319
27	15.217	0.8710	1.1823	0.1132	1.2152	0.8879	0.0169	1.1263
28	15.484	0.9032	1.1899	0.1184	1.2425	0.8930	0.0103	1.1199
29	15.500	0.9355	1.1903	0.1187	1.2441	0.8933	0.0422	1.1195
30	17.826	0.9677	1.2511	0.1642	1.4634	0.9283	0.0394	1.0772
평 균	8.6425		0.8458	0.0962		0.5267	0.0651	
표 준 편 차	4.9048		0.2769					
개수/최대값	30	Dn=	0.2483			Dmax=	0.1741	
재 현 기 간	2	5	**10**	20	30	50	100	
확 률 유 량	7.0116	4.0997	**3.0969**	2.4565	2.1775	1.8927	1.5907	

□ 10년 빈도 7일 갈수량 산정

m	x(연속 7일 최소유량)	초과확률 $P(X>x)$	대수유량 $y=\log_{10}x$	$(y-\bar{y})^2$	$z=(y-\bar{y})/\sigma$	$F(z)$	$\|F(z)-P(X>x)\|$	재현기간 (년)
1	0.100	0.0323	-1.0000	2.3463	-2.9483	0.0016	0.0307	626.0030
2	0.300	0.0645	-0.5229	1.1123	-2.0300	0.0212	0.0433	47.2155
3	0.800	0.0968	-0.0969	0.3952	-1.2101	0.1131	0.0164	8.8397
4	1.000	0.1290	0.0000	0.2828	-1.0235	0.1530	0.0240	6.5348
5	1.000	0.1613	0.0000	0.2828	-1.0235	0.1530	0.0083	6.5348
6	1.000	0.1935	0.0000	0.2828	-1.0235	0.1530	0.0405	6.5348
7	1.000	0.2258	0.0000	0.2828	-1.0235	0.1530	0.0728	6.5348
8	1.900	0.2581	0.2788	0.0640	-0.4870	0.3131	0.0551	3.1936
9	2.000	0.2903	0.3010	0.0532	-0.4441	0.3285	0.0382	3.0443
10	2.000	0.3226	0.3010	0.0532	-0.4441	0.3285	0.0059	3.0443
11	2.100	0.3548	0.3222	0.0439	-0.4033	0.3434	0.0115	2.9125
12	3.000	0.3871	0.4771	0.0030	-0.1052	0.4581	0.0710	2.1828
13	3.194	0.4194	0.5043	0.0008	-0.0528	0.4789	0.0596	2.0879
14	4.000	0.4516	0.6021	0.0049	0.1353	0.5538	0.1022	1.8057
15	5.436	0.4839	0.7353	0.0414	0.3917	0.6524	0.1685	1.5329
16	6.000	0.5161	0.7782	0.0607	0.4742	0.6823	0.1662	1.4656
17	6.476	0.5484	0.8113	0.0781	0.5381	0.7047	0.1563	1.4190
18	6.773	0.5806	0.8308	0.0894	0.5755	0.7175	0.1369	1.3937
19	6.773	0.6129	0.8308	0.0894	0.5755	0.7175	0.1046	1.3937
20	7.500	0.6452	0.8751	0.1179	0.6608	0.7456	0.1005	1.3412
21	8.395	0.6774	0.9240	0.1539	0.7550	0.7749	0.0975	1.2905
22	9.000	0.7097	0.9542	0.1785	0.8132	0.7919	0.0823	1.2627
23	9.138	0.7419	0.9609	0.1841	0.8259	0.7956	0.0536	1.2570
24	9.202	0.7742	0.9639	0.1867	0.8317	0.7972	0.0230	1.2544
25	9.300	0.8065	0.9685	0.1907	0.8406	0.7997	0.0067	1.2504
26	9.910	0.8387	0.9961	0.2156	0.8937	0.8143	0.0245	1.2281
27	10.197	0.8710	1.0085	0.2273	0.9176	0.8206	0.0504	1.2187
28	10.778	0.9032	1.0325	0.2508	0.9639	0.8324	0.0708	1.2013
29	10.852	0.9355	1.0355	0.2538	0.9696	0.8339	0.1016	1.1992
30	12.043	0.9677	1.0807	0.3014	1.0567	0.8547	0.1131	1.1700
평 균	5.3722		0.5318					
표 준 편 차	3.8637		0.5195					
개수/최대값	30	Dn=	0.2483			Dmax=	0.1685	
재 현 기 간	2	5	**10**	20	30	50	100	
확 률 유 량	3.4022	1.2431	**0.7344**	0.4756	0.3793	0.2916	0.2104	

자료 : 저자 작성

부표 9 | 분석지점의 빈도별 갈수량(섬진강 섬진강댐)

(단위 : ㎥/sec)

□ 10년 빈도 갈수량(=기준갈수량) 산정

m	x(355일 갈수량)	초과확률 $P(X>x)$	대수유량 $y=\log_{10}x$	$(y-\bar{y})^2$	$z=(y-\bar{y})/\sigma$	$F(z)$	$\lvert F(z)-P(X>x)\rvert$	재현기간 (년)
1	0.013	0.0500	-1.8861	1.4134	-2.1891	0.0143	0.0357	69.9488
2	0.082	0.1000	-1.0862	0.1513	-0.7162	0.2369	0.1369	4.2209
3	0.086	0.1500	-1.0655	0.1356	-0.6782	0.2488	0.0988	4.0187
4	0.100	0.2000	-1.0000	0.0917	-0.5576	0.2886	0.0886	3.4653
5	0.100	0.2500	-1.0000	0.0917	-0.5576	0.2886	0.0386	3.4653
6	0.100	0.3000	-1.0000	0.0917	-0.5576	0.2886	0.0114	3.4653
7	0.100	0.3500	-1.0000	0.0917	-0.5576	0.2886	0.0614	3.4653
8	0.100	0.4000	-1.0000	0.0917	-0.5576	0.2886	0.1114	3.4653
9	0.100	0.4500	-1.0000	0.0917	-0.5576	0.2886	0.1614	3.4653
10	0.100	0.5000	-1.0000	0.0917	-0.5576	0.2886	0.2114	3.4653
11	0.100	0.5500	-1.0000	0.0917	-0.5576	0.2886	0.2614	3.4653
12	0.338	0.6000	-0.4711	0.0511	0.4163	0.6614	0.0614	1.5119
13	0.398	0.6500	-0.4001	0.0883	0.5470	0.7078	0.0578	1.4128
14	0.400	0.7000	-0.3979	0.0896	0.5510	0.7092	0.0092	1.4101
15	0.502	0.7500	-0.2993	0.1583	0.7327	0.7681	0.0181	1.3019
16	1.038	0.8000	0.0162	0.5089	1.3136	0.9055	0.1055	1.1044
17	1.180	0.8500	0.0719	0.5915	1.4161	0.9216	0.0716	1.0850
18	1.338	0.9000	0.1265	0.6784	1.5166	0.9353	0.0353	1.0692
19	1.396	0.9500	0.1449	0.7091	1.5505	0.9395	0.0105	1.0644
평균	0.3985		-0.6972	0.2794		0.4925	0.0835	
표준편차	0.4697		0.5431					
개수/최대값	19	Dn=	0.3120			Dmax=	0.2614	
재현기간	2	5	10	20	30	50	100	
확률유량	0.2008	0.0701	**0.0404**	0.0257	0.0203	0.0154	0.0109	

□ 10년 빈도 7일 갈수량 산정

m	x(연속 7일 최소유량)	초과확률 $P(X>x)$	대수유량 $y=\log_{10}x$	$(y-\bar{y})^2$	$z=(y-\bar{y})/\sigma$	$F(z)$	$\lvert F(z)-P(X>x)\rvert$	재현기간 (년)
1	0.013	0.0323	-1.8861	1.1693	-1.8283	0.0338	0.0015	29.6263
2	0.014	0.0645	-1.8539	1.1008	-1.7739	0.0380	0.0265	26.2862
3	0.020	0.0968	-1.6990	0.7997	-1.5120	0.0653	0.0315	15.3208
4	0.042	0.1290	-1.3768	0.3273	-0.9672	0.1667	0.0377	5.9979
5	0.048	0.1613	-1.3188	0.2643	-0.8691	0.1924	0.0311	5.1979
6	0.052	0.1935	-1.2840	0.2297	-0.8104	0.2089	0.0153	4.7878
7	0.064	0.2258	-1.1938	0.1514	-0.6579	0.2553	0.0295	3.9170
8	0.074	0.2581	-1.1308	0.1063	-0.5513	0.2907	0.0326	3.4398
9	0.083	0.2903	-1.0809	0.0763	-0.4670	0.3202	0.0299	3.1227
10	0.100	0.3226	-1.0000	0.0381	-0.3302	0.3706	0.0480	2.6982
11	0.100	0.3548	-1.0000	0.0381	-0.3302	0.3706	0.0158	2.6982
12	0.100	0.3871	-1.0000	0.0381	-0.3302	0.3706	0.0165	2.6982
13	0.100	0.4194	-1.0000	0.0381	-0.3302	0.3706	0.0487	2.6982
14	0.100	0.4516	-1.0000	0.0381	-0.3302	0.3706	0.0810	2.6982
15	0.100	0.4839	-1.0000	0.0381	-0.3302	0.3706	0.1133	2.6982
16	0.100	0.5161	-1.0000	0.0381	-0.3302	0.3706	0.1455	2.6982
17	0.100	0.5484	-1.0000	0.0381	-0.3302	0.3706	0.1778	2.6982
18	0.100	0.5806	-1.0000	0.0381	-0.3302	0.3706	0.2100	2.6982
19	0.115	0.6129	-0.9393	0.0181	-0.2276	0.4100	0.2029	2.4391
20	0.266	0.6452	-0.5751	0.0527	0.3881	0.6510	0.0059	1.5360
21	0.397	0.6774	-0.4012	0.1628	0.6822	0.7524	0.0750	1.3290
22	0.397	0.7097	-0.4012	0.1628	0.6822	0.7524	0.0428	1.3290
23	1.000	0.7419	0.0000	0.6475	1.3605	0.9132	0.1712	1.0951
24	1.000	0.7742	0.0000	0.6475	1.3605	0.9132	0.1390	1.0951
25	1.000	0.8065	0.0000	0.6475	1.3605	0.9132	0.1067	1.0951
26	1.000	0.8387	0.0000	0.6475	1.3605	0.9132	0.0745	1.0951
27	1.000	0.8710	0.0000	0.6475	1.3605	0.9132	0.0422	1.0951
28	1.000	0.9032	0.0000	0.6475	1.3605	0.9132	0.0099	1.0951
29	1.000	0.9355	0.0000	0.6475	1.3605	0.9132	0.0223	1.0951
30	1.000	0.9677	0.0000	0.6475	1.3605	0.9132	0.0546	1.0951
평균	0.3495		-0.8047					
표준편차	0.4089		0.5915					
개수/최대값	30	Dn=	0.2483			Dmax=	0.2100	
재현기간	2	5	10	20	30	50	100	
확률유량	0.1568	0.0498	**0.0274**	0.0167	0.0129	0.0096	0.0066	

자료 : 저자 작성

부표 10 | 적용지점의 빈도별 갈수량(한강 한강대교)

(단위 : ㎥/sec)

□ 10년 빈도 갈수량(=기준갈수량) 산정

m	x(355일 갈수량)	초과확률 $P(X>x)$	대수유량 $y=\log_{10}x$	$(y-\overline{y})^2$	$z=(y-\overline{y})/\sigma$	$F(z)$	$\lvert F(z)-P(X>x)\rvert$	재현기간 (년)
1	54.320	0.050	1.7350	0.0498	-1.4304	0.0763	0.0263	13.1052
2	57.070	0.100	1.7564	0.0407	-1.2930	0.0980	0.0020	10.2028
3	59.380	0.150	1.7736	0.0341	-1.1826	0.1185	0.0315	8.4394
4	62.210	0.200	1.7939	0.0270	-1.0530	0.1462	0.0538	6.8415
5	71.410	0.250	1.8538	0.0109	-0.6693	0.2517	0.0017	3.9736
6	74.820	0.300	1.8740	0.0071	-0.5395	0.2948	0.0052	3.3924
7	83.820	0.350	1.9233	0.0012	-0.2234	0.4116	0.0616	2.4295
8	98.040	0.400	1.9914	0.0011	0.2126	0.5842	0.1842	1.7118
9	107.590	0.450	2.0318	0.0054	0.4712	0.6813	0.2313	1.4679
10	108.980	0.500	2.0373	0.0063	0.5069	0.6939	0.1939	1.4411
11	113.320	0.550	2.0543	0.0092	0.6156	0.7309	0.1809	1.3682
12	114.570	0.600	2.0591	0.0102	0.6461	0.7409	0.1409	1.3497
13	124.680	0.650	2.0958	0.0189	0.8814	0.8109	0.1609	1.2331
14	139.840	0.700	2.1456	0.0351	1.2007	0.8851	0.1851	1.1299
15	177.020	0.750	2.2480	0.0840	1.8566	0.9683	0.2183	1.0327

평균	96.4713		1.9582	0.0227		0.4995	0.1118	
표준편차	35.0452		0.1561					
개수/최대값	15	Dn=	0.35115			Dmax=	0.2313	
재현기간	2	5	10	20	30	50	100	
확률유량	90.8286	67.1207	57.3045	50.2900	46.9863	43.4168	39.3649	

□ 10년 빈도 7일 갈수량 산정

m	x(연속 7일 최소유량)	초과확률 $P(X>x)$	대수유량 $y=\log_{10}x$	$(y-\overline{y})^2$	$z=(y-\overline{y})/\sigma$	$F(z)$	$\lvert F(z)-P(X>x)\rvert$	재현기간 (년)
1	16.780	0.0500	1.2248	0.2557	-2.0527	0.0201	0.0299	49.8704
2	17.590	0.1000	1.2453	0.2354	-1.9696	0.0244	0.0756	40.9091
3	27.100	0.1500	1.4330	0.0885	-1.2076	0.1136	0.0364	8.8021
4	40.610	0.2000	1.6086	0.0148	-0.4944	0.3105	0.1105	3.2206
5	55.730	0.2500	1.7461	0.0002	0.0636	0.5254	0.2754	1.9035
6	59.380	0.3000	1.7736	0.0019	0.1754	0.5696	0.2696	1.7555
7	64.600	0.3500	1.8102	0.0064	0.3240	0.6270	0.2770	1.5948
8	64.650	0.4000	1.8106	0.0064	0.3254	0.6275	0.2275	1.5935
9	64.690	0.4500	1.8108	0.0065	0.3265	0.6280	0.1780	1.5925
10	66.020	0.5000	1.8197	0.0080	0.3623	0.6414	0.1414	1.5590
11	69.000	0.5500	1.8388	0.0118	0.4402	0.6701	0.1201	1.4923
12	83.040	0.6000	1.9193	0.0357	0.7667	0.7784	0.1784	1.2847
13	86.640	0.6500	1.9377	0.0430	0.8415	0.8000	0.1500	1.2500
14	91.000	0.7000	1.9590	0.0523	0.9281	0.8233	0.1233	1.2146
15	104.410	0.7500	2.0187	0.0831	1.1705	0.8791	0.1291	1.1375
평균	60.7493		1.7304					
표준편차	26.0370		0.2463					
개수/최대값	15	Dn=	0.35115			Dmax=	0.2770	
재현기간	2	5	10	20	30	50	100	
확률유량	53.7555	33.3510	25.9861	21.1471	18.9967	16.7698	14.3674	

자료 : 저자 작성

▣ 부록 23 : 적용지점의 빈도별 갈수량

부표 11 | 적용지점의 빈도별 갈수량(낙동강 진동)

(단위 : ㎥/sec)

□ 10년 빈도 갈수량(=기준갈수량) 산정

m	x(355일 갈수량)	초과확률 $P(X>x)$	대수유량 $y=\log_{10}x$	$(y-\overline{y})^2$	$z=(y-\overline{y})/\sigma$	$F(z)$	$\lvert F(z)-P(X>x)\rvert$	재현기간 (년)
1	29.370	0.0526	1.4679	0.1576	−1.3076	0.0955	0.0429	10.4702
2	30.450	0.1053	1.4836	0.1454	−1.2559	0.1046	0.0007	9.5628
3	41.710	0.1579	1.6202	0.0599	−0.8058	0.2102	0.0523	4.7582
4	42.580	0.2105	1.6292	0.0556	−0.7763	0.2188	0.0083	4.5708
5	43.940	0.2632	1.6429	0.0493	−0.7313	0.2323	0.0309	4.3051
6	48.640	0.3158	1.6870	0.0317	−0.5860	0.2789	0.0368	3.5850
7	49.420	0.3684	1.6939	0.0292	−0.5632	0.2866	0.0818	3.4887
8	53.670	0.4211	1.7297	0.0183	−0.4452	0.3281	0.0930	3.0481
9	65.980	0.4737	1.8194	0.0021	−0.1499	0.4404	0.0332	2.2705
10	66.700	0.5263	1.8241	0.0017	−0.1343	0.4466	0.0797	2.2393
11	76.540	0.5789	1.8839	0.0004	0.0625	0.5249	0.0540	1.9051
12	83.180	0.6316	1.9200	0.0030	0.1815	0.5720	0.0596	1.7482
13	84.080	0.6842	1.9247	0.0036	0.1969	0.5780	0.1062	1.7300
14	84.670	0.7368	1.9277	0.0039	0.2069	0.5819	0.1549	1.7184
15	99.690	0.7895	1.9987	0.0179	0.4405	0.6702	0.1193	1.4921
16	267.800	0.8421	2.4278	0.3169	1.8539	0.9681	0.1260	1.0329
17	267.800	0.8947	2.4278	0.3169	1.8539	0.9681	0.0734	1.0329
18	288.340	0.9474	2.4599	0.3540	1.9596	0.9750	0.0276	1.0257

평 균	95.809		1.8649	0.0871		0.4711	0.0656	
표 준 편 차	84.736		0.3036					
개수/최대값	18	Dn=	0.3205			Dmax=	0.1549	
재 현 기 간	2	5	**10**	20	30	50	100	
확 률 유 량	73.268	40.679	**29.909**	23.201	20.328	17.432	14.407	

□ 10년 빈도 7일 갈수량 산정

m	x(연속 7일 최소유량)	초과확률 $P(X>x)$	대수유량 $y=\log_{10}x$	$(y-\overline{y})^2$	$z=(y-\overline{y})/\sigma$	$F(z)$	$\lvert F(z)-P(X>x)\rvert$	재현기간 (년)
1	1.490	0.0526	0.1732	2.0141	−2.3117	0.0104	0.0422	96.1766
2	4.540	0.1053	0.6571	0.8748	−1.5235	0.0638	0.0414	15.6706
3	4.890	0.1579	0.6893	0.8155	−1.4710	0.0706	0.0872	14.1549
4	13.010	0.2105	1.1143	0.2286	−0.7788	0.2181	0.0075	4.5859
5	24.080	0.2632	1.3817	0.0444	−0.3432	0.3657	0.1025	2.7344
6	34.640	0.3158	1.5396	0.0028	−0.0860	0.4657	0.1499	2.1472
7	42.370	0.3684	1.6271	0.0012	0.0565	0.5225	0.1541	1.9138
8	42.510	0.4211	1.6285	0.0013	0.0588	0.5235	0.1024	1.9104
9	45.790	0.4737	1.6608	0.0047	0.1114	0.5443	0.0707	1.8371
10	49.000	0.5263	1.6902	0.0096	0.1593	0.5633	0.0370	1.7753
11	67.240	0.5789	1.8276	0.0553	0.3832	0.6492	0.0703	1.5403
12	68.520	0.6316	1.8358	0.0593	0.3965	0.6541	0.0226	1.5287
13	69.540	0.6842	1.8422	0.0624	0.4070	0.6580	0.0262	1.5198
14	69.610	0.7368	1.8427	0.0626	0.4077	0.6582	0.0786	1.5192
15	74.050	0.7895	1.8695	0.0768	0.4514	0.6742	0.1153	1.4833
16	267.800	0.8421	2.4278	0.6979	1.3608	0.9132	0.0711	1.0950
17	267.800	0.8947	2.4278	0.6979	1.3608	0.9132	0.0185	1.0950
18	267.800	0.9474	2.4278	0.6979	1.3608	0.9132	0.0342	1.0950

평 균	78.5933		1.5924					
표 준 편 차	90.2425		0.6139					
개수/최대값	18	Dn=	0.3205			Dmax=	0.1541	
재 현 기 간	2	5	**10**	20	30	50	100	
확 률 유 량	39.1185	11.9040	**6.3916**	3.8245	2.9275	2.1456	1.4594	

자료 : 저자 작성

부표 12 | 적용지점의 빈도별 갈수량(금강 금강교)

(단위 : ㎥/sec)

□ 10년 빈도 갈수량(=기준갈수량) 산정

m	x(355일 갈수량)	초과확률 $P(X>x)$	대수유량 $y=\log_{10}x$	$(y-\overline{y})^2$	$z=(y-\overline{y})/\sigma$	$F(z)$	$\lvert F(z)-P(X>x)\rvert$	재현기간 (년)
1	11.620	0.0625	1.0652	0.2015	−1.9999	0.0228	0.0397	43.9471
2	13.700	0.1250	1.1367	0.1424	−1.6813	0.0464	0.0786	21.5741
3	20.550	0.1875	1.3128	0.0405	−0.8968	0.1849	0.0026	5.4078
4	20.900	0.2500	1.3201	0.0376	−0.8641	0.1938	0.0562	5.1609
5	30.400	0.3125	1.4829	0.0010	−0.1391	0.4447	0.1322	2.2488
6	32.460	0.3750	1.5113	0.0000	−0.0123	0.4951	0.1201	2.0198
7	34.460	0.4375	1.5373	0.0005	0.1034	0.5412	0.1037	1.8478
8	34.760	0.5000	1.5411	0.0007	0.1202	0.5478	0.0478	1.8254
9	35.690	0.5625	1.5525	0.0015	0.1713	0.5680	0.0055	1.7606
10	36.920	0.6250	1.5673	0.0028	0.2368	0.5936	0.0314	1.6846
11	41.680	0.6875	1.6199	0.0112	0.4715	0.6814	0.0061	1.4677
12	50.950	0.7500	1.7071	0.0373	0.8601	0.8051	0.0551	1.2421
13	53.620	0.8125	1.7293	0.0463	0.9589	0.8312	0.0187	1.2031
14	60.380	0.8750	1.7809	0.0712	1.1886	0.8827	0.0077	1.1329
15	70.290	0.9375	1.8469	0.1108	1.4827	0.9309	0.0066	1.0742

평균	36.5587		1.5141	0.0470		0.5180	0.0475	
표준편차	16.7734		0.2245					
개수/최대값	15	Dn=	0.3512			Dmax=	0.1322	
재현기간	2	5	**10**	20	30	50	100	
확률유량	32.6663	21.1443	**16.8441**	13.9605	12.6609	11.3012	9.8160	

□ 10년 빈도 7일 갈수량 산정

m	x(연속 7일 최소유량)	초과확률 $P(X>x)$	대수유량 $y=\log_{10}x$	$(y-\overline{y})^2$	$z=(y-\overline{y})/\sigma$	$F(z)$	$\lvert F(z)-P(X>x)\rvert$	재현기간 (년)
1	7.940	0.0625	0.8998	0.1947	−1.4266	0.0769	0.0144	13.0123
2	9.180	0.1250	0.9628	0.1430	−1.2228	0.1107	0.0143	9.0335
3	10.150	0.1875	1.0065	0.1119	−1.0818	0.1397	0.0478	7.1594
4	10.740	0.2500	1.0310	0.0961	−1.0024	0.1581	0.0919	6.3265
5	11.290	0.3125	1.0527	0.0832	−0.9323	0.1756	0.1369	5.6952
6	15.560	0.3750	1.1920	0.0222	−0.4819	0.3149	0.0601	3.1752
7	18.590	0.4375	1.2693	0.0052	−0.2321	0.4082	0.0293	2.4495
8	22.940	0.5000	1.3606	0.0004	0.0632	0.5252	0.0252	1.9041
9	27.970	0.5625	1.4467	0.0112	0.3415	0.6337	0.0712	1.5781
10	28.540	0.6250	1.4555	0.0131	0.3699	0.6443	0.0193	1.5522
11	30.930	0.6875	1.4904	0.0223	0.4828	0.6854	0.0021	1.4590
12	48.320	0.7500	1.6841	0.1177	1.1092	0.8663	0.1163	1.1543
13	50.340	0.8125	1.7019	0.1302	1.1667	0.8783	0.0658	1.1385
14	58.190	0.8750	1.7648	0.1796	1.3702	0.9147	0.0397	1.0933
15	62.760	0.9375	1.7977	0.2085	1.4764	0.9301	0.0074	1.0752

평균	27.5627		1.3411					
표준편차	18.8205		0.3093					
개수/최대값	15	Dn=	0.3512			Dmax=	0.1369	
재현기간	2	5	**10**	20	30	50	100	
확률유량	21.9308	12.0433	**8.8039**	6.7969	5.9406	5.0797	4.1834	

자료 : 저자 작성

부표 13 | 적용지점의 빈도별 갈수량(영산강 나주대교)

(단위 : ㎥/sec)

□ 10년 빈도 갈수량(=기준갈수량) 산정

m	x(355일 갈수량)	초과확률 $P(X>x)$	대수유량 $y=\log_{10}x$	$(y-\bar{y})^2$	$z=(y-\bar{y})/\sigma$	$F(z)$	$\|F(z)-P(X>x)\|$	재현기간 (년)
1	9.300	0.0714	0.9685	0.0156	-1.1353	0.1281	0.0567	7.8054
2	9.600	0.1429	0.9823	0.0124	-1.0102	0.1562	0.0133	6.4018
3	10.430	0.2143	1.0183	0.0057	-0.6833	0.2472	0.0329	4.0450
4	10.480	0.2857	1.0204	0.0054	-0.6644	0.2532	0.0325	3.9492
5	10.870	0.3571	1.0362	0.0033	-0.5204	0.3014	0.0557	3.3178
6	11.130	0.4286	1.0465	0.0022	-0.4272	0.3346	0.0939	2.9884
7	11.150	0.5000	1.0473	0.0021	-0.4201	0.3372	0.1628	2.9655
8	11.860	0.5714	1.0741	0.0004	-0.1767	0.4299	0.1416	2.3263
9	12.570	0.6429	1.0993	0.0000	0.0525	0.5209	0.1219	1.9196
10	12.760	0.7143	1.1059	0.0002	0.1116	0.5444	0.1698	1.8367
11	17.370	0.7857	1.2398	0.0214	1.3276	0.9078	0.1221	1.1015
12	18.630	0.8571	1.2702	0.0312	1.6037	0.9456	0.0885	1.0575
13	20.300	0.9286	1.3075	0.0458	1.9421	0.9739	0.0454	1.0268

평 균	12.8038		1.0936	0.0112		0.4677	0.0875	
표 준 편 차	3.5915		0.1102					
개수/최대값	13	Dn=	0.3772			Dmax=	0.1698	
재 현 기 간	2	5	10	20	30	50	100	
확 률 유 량	12.4037	10.0193	8.9614	8.1725	7.7898	7.3673	6.8751	

□ 10년 빈도 7일 갈수량 산정

m	x(연속 7일 최소유량)	초과확률 $P(X>x)$	대수유량 $y=\log_{10}x$	$(y-\bar{y})^2$	$z=(y-\bar{y})/\sigma$	$F(z)$	$\|F(z)-P(X>x)\|$	재현기간 (년)
1	6.070	0.0714	0.7832	0.0439	-1.7500	0.0401	0.0314	24.9605
2	7.860	0.1429	0.8954	0.0095	-0.8123	0.2083	0.0654	4.8008
3	7.970	0.2143	0.9015	0.0083	-0.7619	0.2231	0.0088	4.4832
4	8.010	0.2857	0.9036	0.0079	-0.7437	0.2285	0.0572	4.3761
5	8.760	0.3571	0.9425	0.0025	-0.4190	0.3376	0.0195	2.9620
6	9.450	0.4286	0.9754	0.0003	-0.1439	0.4428	0.0142	2.2585
7	9.450	0.5000	0.9754	0.0003	-0.1439	0.4428	0.0572	2.2585
8	10.260	0.5714	1.0111	0.0003	0.1544	0.5614	0.0101	1.7814
9	10.480	0.6429	1.0204	0.0008	0.2314	0.5915	0.0514	1.6906
10	11.000	0.7143	1.0414	0.0024	0.4071	0.6580	0.0562	1.5197
11	11.860	0.7857	1.0741	0.0066	0.6802	0.7518	0.0339	1.3301
12	13.060	0.8571	1.1159	0.0152	1.0299	0.8485	0.0087	1.1786
13	18.390	0.9286	1.2646	0.0739	2.2717	0.9884	0.0599	1.0117

평 균	10.2015		0.9927					
표 준 편 차	3.0854		0.1197					
개수/최대값	13	Dn=	0.3772			Dmax=	0.0654	
재 현 기 간	2	5	10	20	30	50	100	
확 률 유 량	9.8324	7.7968	6.9065	6.2484	5.9311	5.5824	5.1784	

자료 : 저자 작성

부표 14 | 적용지점의 빈도별 갈수량(섬진강 송정)

(단위 : ㎥/sec)

□ 10년 빈도 갈수량(=기준갈수량) 산정

m	x(355일 갈수량)	초과확률 $P(X>x)$	대수유량 $y=\log_{10}x$	$(y-\overline{y})^2$	$z=(y-\overline{y})/\sigma$	$F(z)$	$\lvert F(z)-P(X>x)$	재현기간 (년)
1	4.510	0.0455	0.6542	0.1336	-1.9712	0.0244	0.0211	41.0669
2	4.510	0.0909	0.6542	0.1336	-1.9712	0.0244	0.0666	41.0669
3	4.970	0.1364	0.6964	0.1045	-1.7437	0.0406	0.0958	24.6264
4	5.670	0.1818	0.7536	0.0708	-1.4350	0.0756	0.1062	13.2203
5	8.230	0.2273	0.9154	0.0109	-0.5622	0.2870	0.0597	3.4844
6	9.410	0.2727	0.9736	0.0021	-0.2483	0.4019	0.1292	2.4879
7	9.830	0.3182	0.9926	0.0007	-0.1460	0.4419	0.1238	2.2627
8	11.000	0.3636	1.0414	0.0005	0.1174	0.5467	0.1831	1.8291
9	11.060	0.4091	1.0438	0.0006	0.1301	0.5518	0.1427	1.8124
10	11.600	0.4545	1.0645	0.0020	0.2418	0.5955	0.1410	1.6792
11	11.720	0.5000	1.0689	0.0024	0.2659	0.6048	0.1048	1.6533
12	12.110	0.5455	1.0831	0.0040	0.3426	0.6340	0.0886	1.5772
13	12.500	0.5909	1.0969	0.0060	0.4168	0.6616	0.0707	1.5115
14	12.560	0.6364	1.0990	0.0063	0.4281	0.6657	0.0293	1.5022
15	12.630	0.6818	1.1014	0.0067	0.4411	0.6704	0.0114	1.4916
16	13.290	0.7273	1.1235	0.0108	0.5604	0.7124	0.0149	1.4037
17	13.320	0.7727	1.1245	0.0110	0.5657	0.7142	0.0585	1.4002
18	16.210	0.8182	1.2098	0.0362	1.0257	0.8475	0.0293	1.1800
19	16.770	0.8636	1.2245	0.0420	1.1052	0.8655	0.0018	1.1554
20	16.790	0.9091	1.2251	0.0422	1.1080	0.8661	0.0430	1.1546
21	18.450	0.9545	1.2660	0.0607	1.3289	0.9081	0.0465	1.1013

평 균	11.2924		1.0196	0.0327		0.5305	0.0747	
표 준 편 차	4.0517		0.1854					
개수/최대값	21	Dn=	0.296776			Dmax=	0.1831	
재 현 기 간	2	5	10	20	30	50	100	
확 률 유 량	10.4623	7.3046	**6.0539**	5.1842	4.7822	4.3538	3.8756	

□ 10년 빈도 7일 갈수량 산정

m	x(연속 7일 최소유량)	초과확률 $P(X>x)$	대수유량 $y=\log_{10}x$	$(y-\overline{y})^2$	$z=(y-\overline{y})/\sigma$	$F(z)$	$\lvert F(z)-P(X>x)$	재현기간 (년)
1	0.830	0.0455	-0.0809	0.9433	-3.3976	0.0003	0.0451	2942.1299
2	3.040	0.0909	0.4829	0.1660	-1.4253	0.0770	0.0139	12.9817
3	4.240	0.1364	0.6274	0.0691	-0.9199	0.1788	0.0425	5.5921
4	4.970	0.1818	0.6964	0.0376	-0.6785	0.2487	0.0669	4.0206
5	6.130	0.2273	0.7875	0.0106	-0.3598	0.3595	0.1322	2.7817
6	6.450	0.2727	0.8096	0.0065	-0.2825	0.3888	0.1161	2.5722
7	6.860	0.3182	0.8363	0.0029	-0.1889	0.4251	0.1069	2.3524
8	7.960	0.3636	0.9009	0.0001	0.0371	0.5148	0.1511	1.9426
9	8.810	0.4091	0.9450	0.0030	0.1912	0.5758	0.1667	1.7367
10	9.200	0.4545	0.9638	0.0054	0.2570	0.6014	0.1469	1.6627
11	9.570	0.5000	0.9809	0.0082	0.3169	0.6243	0.1243	1.6017
12	10.000	0.5455	1.0000	0.0120	0.3837	0.6494	0.1039	1.5399
13	10.570	0.5909	1.0241	0.0179	0.4679	0.6801	0.0892	1.4704
14	11.040	0.6364	1.0430	0.0233	0.5340	0.7033	0.0670	1.4218
15	11.110	0.6818	1.0457	0.0241	0.5436	0.7066	0.0248	1.4151
16	11.310	0.7273	1.0535	0.0266	0.5707	0.7159	0.0114	1.3968
17	11.340	0.7727	1.0546	0.0270	0.5747	0.7173	0.0555	1.3942
18	11.660	0.8182	1.0667	0.0311	0.6170	0.7314	0.0868	1.3673
19	11.750	0.8636	1.0700	0.0323	0.6287	0.7352	0.1284	1.3601
20	14.620	0.9091	1.1649	0.0754	0.9607	0.8317	0.0774	1.2024
21	16.770	0.9545	1.2245	0.1117	1.1692	0.8788	0.0757	1.1379

평 균	8.9633		0.8903					
표 준 편 차	3.8173		0.2859					
개수/최대값	21	Dn=	0.296776			Dmax=	0.1667	
재 현 기 간	2	5	10	20	30	50	100	
확 률 유 량	7.7681	4.4641	**3.3417**	2.6310	2.3231	2.0102	1.6800	

자료 : 저자 작성

수시 20-04

합리적 하천관리를 위한 기준유량 설정방안

연 구 진 박태선
발 행 인 강현수
발 행 처 국토연구원
출판등록 제2017-9호
인 쇄 2020년 6월 27일
발 행 2020년 6월 30일
주 소 세종특별자치시 국책연구원로 5
전 화 044-960-0114
팩 스 044-211-4760
가 격 비매품

I S B N 979-11-5898-537-0
홈페이지 http://www.krihs.re.kr

이 연구보고서를 인용하실 때는 다음과 같은 사항을 기재해주십시오.
박태선. 2020. 합리적 하천관리를 위한 기준유량 설정방안. 세종: 국토연구원.

합리적 하천관리를 위한 기준유량 설정방안

A Proposal to Establish the Reference Discharges for Rational River Management

KRIHS 국토연구원
(30147) 세종특별자치시 국책연구원로 5 (반곡동)
TEL (044) 960-0114 FAX (044) 211-4760

비매품/무료
93300
9 791158 985370
ISBN 979-11-5898-537-0