

수위-유량관계곡선 개발 방법론에 관한 연구

A Study on the Development Method of Stage-Discharge Rating Curve

이연길*, 권규상**, 김형섭***, 이진원***, 정성원****

Yeon Kil Lee, Kyu Sang Kwon, Hyoung Seop Kim, Jin Won Lee, Sung Won Jung

요 지

본 연구는 하도특성의 불규칙으로 인해 수위와 유량이 단일 관계가 형성되지 않은 경우와 유수의 흐름이 지속되어 GZF 측정이 어려운 경우에 구간분리와 GZF를 결정하는 곡선식 개발 방법론이라 할 수 있다. 첫 번째 연구과제는 저수위 구간 수위-유량관계곡선식의 GZF 추정방법의 개선에 관한 연구이다. 다음과 같은 연구를 수행하기 위해서 GZF의 변화에 따라 곡선식의 신뢰도를 분석할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 본 연구에서 개발한 프로그램은 사용자가 쉽게 이용할 수 있는 엑셀 VBA(Visual Basic for Applications)로 작성되었으며, 입력자료 구축 모듈, 하도단면 입력 모듈, GZF 설정 모듈, GZF 평가 등의 4개 모듈로 구성되어 있다. 두 번째 연구과제는 구간분리 유무의 기준에 관한 연구로서 수위-유량관계곡선의 신뢰도에 직접적인 영향을 미친다. 본 연구에서는 일차적으로 단면의 특성이 상이한 4개의 수위관측소를 선정하여 수위-면적 곡선과 수위-면적변화량곡선을 생성하였으며 이로부터 단면변화와 구간분리의 특성을 분석하였다. 구간분리의 기준에 영향을 미치는 변수로는 단면특성인자, 유속, 하상경사, 수면경사, 단면통제, 하도통제 등을 들 수 있으며, 또한 다음과 같은 주요변수들이 서로 복합적으로 작용되기 때문에 일정한 기준을 제시하기란 어려운 부분이라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 구간분리에 영향을 미치는 주요 변수 중에서도 가장 크게 영향을 주는 변수인 하도 단면의 특성 등을 중심으로 연구를 진행하였다. 먼저 단면의 특성이 서로 상이한 수위 관측소 단면을 선정하여 수위관측소별로 저수부에서 고수위 구간까지 10cm의 등간격으로 수위별 면적을 산정하여 구간분리의 가능성을 판단하였다. 구간분리의 유무에 관한 연구는 현재 진행 중에 있으며, 향후에는 1단면, 2단면, 3단면까지 파악하여 단면 특성이 구간분리에 미치는 영향 등을 파악할 계획에 있다. 또한 하도 단면의 다양성을 고려하여 단면형상이 상이한 여러 수위관측소 지점에서 구간분리의 기준을 연구할 계획이며, 단면의 특성을 파악한 후에는 유량, 유속, 하상경사, 하도통제 등을 고려할 계획이다.

핵심용어 : 유량측정, 통제구조물, 구간분리, 수위-면적변화량 곡선, 수위-유량관계곡선식

1. 서 론

고품질의 유량자료를 생산하기 위해서는 계측장비의 개량과 유량측정 기준의 개선 등이 필요하며, 수위와 유량을 공식화하는 방법에 대한 연구가 필요하다. 유량측정성과는 신뢰성 있는 수위-유량관계곡선식 개발에 가장 직접적인 자료로 널리 인식되어졌기 때문에 측정방법과 측정기준 등을 개선하기 위한 많은 연구가 진행되어오고 있으나 수위와 유량의 관계를 공식화하는 분야는 연구가 미진한 실정이다. 수위-유량관계곡선식은 하도의 특성 등을 반영할 수 있는 구간분리, 구간분리의 위치나 수, GZF 등을 적절하게 결정하여 당해 년도를 대표할 수 있는 곡선식으로 개발되어야 한다. 그러나 아직까지 곡선식 개발에 대한 기준과 방법 등이

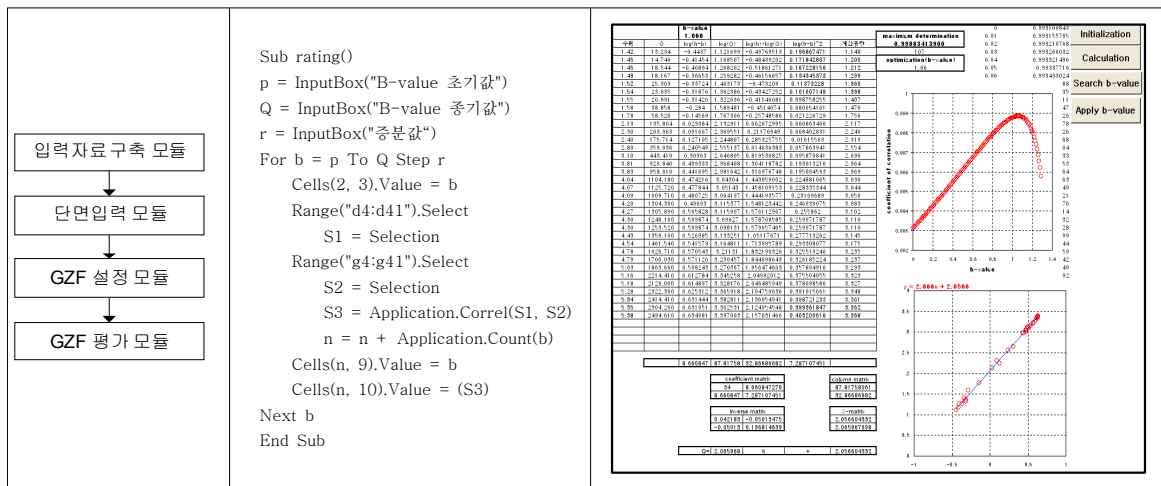
* 정회원 유량조사사업단 유량조사실 유사량그룹 그룹장 · E-mail : sugawon@kict.re.kr
** 정회원 유량조사사업단 유량조사실 유사량그룹 연구원 · E-mail : geokwon@kict.re.kr
*** 정회원 유량조사사업단 유량조사실 실장 · E-mail : jwlee@kict.re.kr
**** 정회원 유량조사사업단 단장 · E-mail : swjung@kict.re.kr

명확하게 제시되어 있지 않고, 또한 이에 대한 연구는 미진한 실정이다. 측정된 수위와 유량자료로부터 단순 통계적인 방법을 적용하여 곡선식을 개발하는 방식을 이용하고 있기 때문에 하도의 특성을 적절하게 반영하지 못한 결과를 초래하고 있다. 수위-유량관계곡선식의 신뢰도를 떨어뜨리는 유형을 보면 하도의 단면형상이 단단면이 아닌 복단면임에도 불구하고 구간분리를 수행하지 않은 경우와 구간분리를 수행하였더라도 단순히 측정성과의 경향성에 의존한 경우 등을 들 수 있다. 또한 저수위구간의 GZF 산정 시 현지조사나 측량을 수행하지 않고, 단순 통계적인 방법으로 결정하는 방법 등을 들 수 있다. 이러한 곡선식 개발 방법은 수위와 유량관계를 단순 수학적인 관계만 규명해줄 뿐 강우에 의한 유역의 유출응답으로 발생하는 하천 유출량을 파악하는데 한계가 있고, 곡선식의 다목적 이용을 억제하는 결과를 초래할 수 있다. 따라서 신뢰성 있는 곡선식 개발을 통해 고품질의 자료를 제공하기 위해서는 곡선식 개발의 방법론적인 연구가 필요하며 이를 통해 효율적인 수자원 관리와 개발이 가능할 것으로 판단된다. 본 연구는 하도특성의 불규칙으로 수위와 유량이 단일 관계가 형성되지 않은 경우와 평상시 하도에 유수의 흐름이 지속되고, 하류지점에 통제구조물이 존재하지 않은 지점에서 구간분리와 GZF 산정 시 쉽게 범할 수 있는 오류를 최소화할 수 있는 곡선식의 개발을 목적으로 한다.

2. GZF 평가 시스템

수위-유량관계곡선식 개발시 GZF가 곡선식의 신뢰도에 미치는 영향을 파악하기 위한 GZF 평가 시스템 환경은 다음과 같이 구성하였다. GZF 평가 시스템은 입력자료 구축 모듈, 수위관측소 지점의 하도 단면 입력 모듈, GZF 설정 모듈, GZF 평가 모듈의 4개 모듈로 구성되었다. 입력자료 구축 모듈은 기 개발된 곡선식의 GZF 적정성을 파악할 수 있도록 자료를 구축하는 모듈이며, 하도 단면 입력 모듈에서는 수위관측소 지점의 하상의 변화 유무와 구간분리, 기간분리 등의 필요성을 파악할 수 있다. GZF 설정 모듈은 수위와 유량자료를 이용하여 GZF의 변화에 따라 곡선식의 설명력을 파악할 있도록 구성되었다. 마지막으로 GZF 평가 모듈은 기 개발된 곡선식의 GZF와 금회 개발할 곡선식의 GZF를 비교·분석할 수 있도록 구성하였다.

그림 1 GZF 평가시스템의 구성



3. 구간분리 특성 분석

본 연구에서 구간분리에 영향을 미치는 주요 변수 중에서도 가장 크게 영향을 주는 변수인 하도 단면의 특성 등을 중심으로 연구를 진행하였다. 먼저 단면의 특성이 서로 상이한 수위관측소 단면을 선정하여 수위 관측소별로 저수부에서 고수위 구간까지 10cm의 등간격으로 수위별 면적을 산정하여 구간분리의 가능성을 일차적으로 판단하였다. 수위와 면적의 관계를 규명하기 위해서 먼저 수위-면적곡선을 작성하였으며, 이를 바탕으로 수위별 면적변화량 곡선을 생성하였다. 수위별-면적의 관계는 구간분리의 가능성은 나타내주고 있으며 지점별로 특성 등을 요약해보면 다음과 같다. 구레2 지점의 경우, 수위별 면적관계에서는 2가지 경향성

으로 단면변화의 특성을 가졌고, 수위별 면적 변화량 곡선에서는 크게 3개의 구간분리 특성을 나타냈다. 곡성 지점의 경우에도 수위별 면적관계에서 2가지 경향성으로 구분되어졌으나, 수위별 면적 변화량 곡선에서는 7개의 구간으로 분리되는 단면의 특성을 가졌다. 하리 지점의 경우, 저수로 구간에서는 포물선 경향과 1차식의 경향을 가지는 2가지 경우로 나타나고 있으나, 수위별 면적 변화량 곡선에서는 8개의 구간으로 분리되는 단면의 특성을 가지고 있다. 여주 지점의 경우, 2007년 홍수 전·후의 2개 단면에서 수위별 면적변화 특성을 분석한 결과, 홍수전·후의 특성은 유사하였다.

3.1 단면변화 특성 분석

남한강 수계에 위치한 여주 지점의 수심별 단면변화 특성은 2007년의 홍수 전·후의 수위관측소 횡단자료로 수위별 단면적을 산정하여 단면변화 특성을 파악하였다. 본 지점의 수위관측소 단면은 그림 2에 나타나 있는 바와 같이 유심부가 좌안에 발달되어 있고, 수위 4m 이상에서는 우안에 고수부지가 발달되어 있는 단면형상을 가지고 있다. 본 지점에서는 수위 -6.5m~10.0m까지 10cm 간격으로 수위별 단면적을 산정하여 2007년 홍수전·후 단면에 대하여 단면변화 특성을 분석하였다. 2007년 홍수전·후의 수위관측소 단면에서 수위별 단면적을 산정한 결과, 홍수전 단면의 경우 수위 -6.5m, 10.0m에서 각각 $26.789m^2$, $4,779.443m^2$ 의 값으로, 2007년 홍수후 단면의 경우는 -6.5m, 10.0m에서 $16.234m^2$, $4,754.650m^2$ 로 산정되었다. 수위 10.0m에서 홍수전·후의 단면적의 차는 $24.793m^2$ 로 홍수후에 0.5%의 단면적이 감소된 것으로 분석되었다. 2007년 홍수후의 단면적 감소를 수심별로 나타내주고 있는 그림 3에 나타나 있는 바와 같이 수위 5.4m까지는 전반적으로 수심이 증가할수록 단면적이 증감하는 경향을 나타내었으나 수위 5.4m 이상에서는 단면적 변화가 발생하지 않았다. 이와 같은 결과는 2007년 홍수전·후의 단면변화가 수위 5.4m 이하에서만 발생하였음을 나타내주고 있다.

만경강 수계에 위치한 하리 지점에서는 2007년에 유량측정이 실시되지 않은 관계로 2006년 홍수 전·후의 수위관측소 횡단자료만으로 수위별 단면적을 산정하여 단면변화 특성을 파악하였다. 본 지점에서는 수위 -1.0m~7.0m까지 10cm 간격으로 수위별 단면적을 산정하였다. 2006년 홍수전·후 수위관측소 단면으로 수위별 단면적을 산정한 결과, 홍수전 단면의 경우는 수위 -1.0m, 7.0m에서 각각 $7.474m^2$, $1,961.822m^2$ 의 값으로, 홍수후 단면의 경우는 $8.265m^2$, $1,956.443m^2$ 로 산정되었다. 수위 7.0m에서 홍수전·후의 단면적 차는 $5.379m^2$ 로 홍수전이 0.28%의 단면적이 증가된 것으로 분석되었다. 2006년 홍수후의 단면적 증가를 수심별로 나타내주고 있는 그림 4에 나타나 있는 바와 같이 전반적으로 수심이 커질수록 단면적 증가량이 증가되는 경향을 나타내었으나 일부구간에서는 감소되는 경향을 나타내었다.

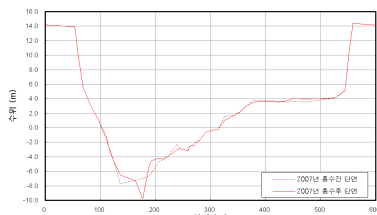


그림 2 수위관측소 단면(여주)

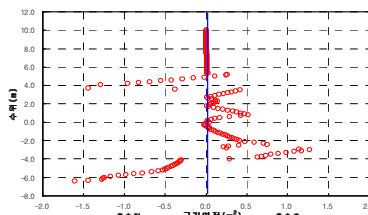


그림 3 수심별 면적비교(여주)

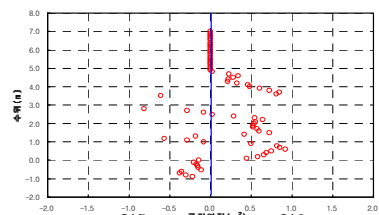


그림 4 수심-면적비교(하리)

3.2 구간분리 특성 분석

구례2 지점의 경우, 2006년, 2007년 홍수 전·후의 4개 단면에서 수위-면적변화 특성을 분석한 결과, 일반적으로 수위 2.0m 이상에서는 수위별 면적변화의 특성이 비교적 일정한 경향을 나타내었으나 수위 2.0m 이하에서는 단면의 불규칙한 특성으로 인해 수위-면적변화량곡선이 연도별 홍수전·후로 다소 산만하게 산정되었다. 구간분리 특성은 2006년 홍수 전 단면의 경우는 3.7m 이하에서, 2006년 홍수 후 단면의 경우는 2.1m 이하에서 구간분리의 특성이 나타났다. 또한 2007년 홍수 전 단면의 경우는 1.4m 이하에서, 2007년 홍수 후

단면의 경우는 3.8m 이하에서 구간분리의 특성이 나타났다. 곡성 지점의 경우, 2007년 홍수 전·후의 2개 단면에서 수위별 면적변화 특성을 분석한 결과, 홍수후가 홍수전보다 단면적이 증가된 것으로 분석되었다. 이는 강우에 의한 유출응답과 댐의 조절방류량 영향으로 퇴적보다는 세굴현상에 기인한 것으로 판단된다. 구간 분리 특성은 2007년 홍수 전 단면의 경우는 4.8m 이하에서, 2007년 홍수 후 단면의 경우는 4.7m 이하에서 단면특성 변화가 나타나 6개, 8개 구간으로 구분되었다. 하리 지점의 경우, 2007년 홍수 전·후의 2개 단면에서 수위별 면적변화 특성을 분석한 결과, 홍수후가 홍수전보다 단면적이 감소된 것으로 분석되었다. 이는 세굴보다는 퇴적현상에 기인한 것으로 판단된다. 또한 각각 수위-면적곡선의 기울기와 그 차가 발생하고 있는 것으로 보아 다소의 하상변동이 발생한 것으로 분석되었다. 구간분리 특성은 2007년 홍수 전 단면의 경우는 4.8m 이하에서, 2007년 홍수 후 단면의 경우는 4.7m 이하에서 단면특성 변화가 나타나 6개, 8개 구간으로 구분되었다. 여주 지점의 경우, 2007년 홍수 전·후의 2개 단면에서 수위별 면적변화 특성을 분석한 결과, 홍수 전·후의 특성은 유사하였다. 본 지점에서 이용된 모든 단면의 경우는 연도별 홍수전·후로 일정한 경향성을 보였다.

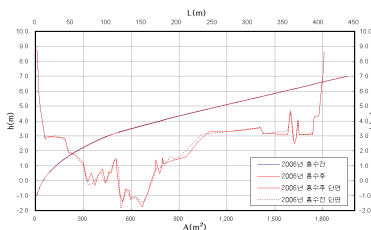


그림 5 수위-면적곡선(하리)

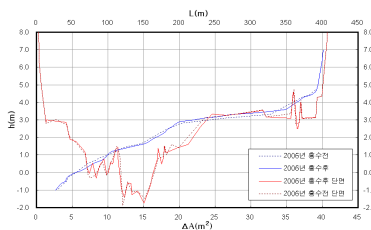


그림 6 수위-면적변화량 곡선(하리)

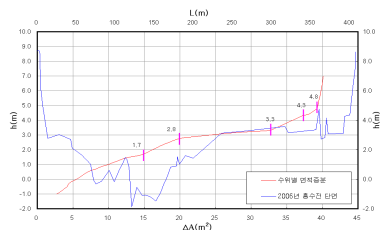


그림 7 수위-면적변화량 곡선(하리)

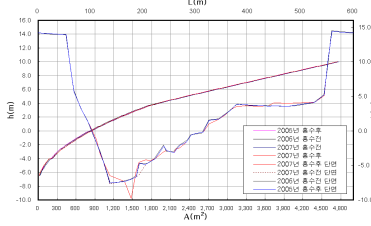


그림 8 수위-면적곡선(여주)

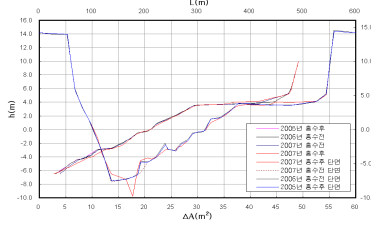


그림 9 수위-면적변화량 곡선(여주)

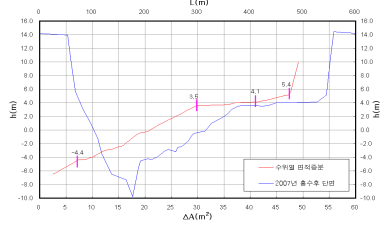


그림 10 수위-면적변화량 곡선(여주)

구레2 지점에서는 단면특성 변화를 수위관측소 단면에 국한하지 않고 홍수기 유량측정 시 이용되는 유량 측정 단면(1, 2, 3단면)을 포함하여 단면특성 변화를 분석하였다. 본 연구에서 이용된 유량측정 단면은 2006년 홍수전 단면이며, 각각의 단면에서 단면적을 생성하여 수위-면적곡선과 수위-면적변화량 곡선을 생성하였다. 수위-면적변화량 곡선의 특성을 분석한 결과, 그림 11에 나타나 있는 바와 같이 각 단면별로 단면특성이 서로 상이하였지만 수위 2.0m를 단면변화 점으로 하였을 때, 0~2단면은 서로 특성이 유사하였지만 3단면만 특성을 달리하였다. 본 연구에서는 2007년도의 측정유량의 특성이 수위-면적변화량의 경향성과 어느 정도 일관성을 가지는지를 비교분석하기 위해서 각 단면의 면적변화량을 산술평균하여 평균 면적변화량 곡선을 산정하였다. 그림 12는 2006년 유량측정 단면에서 생성된 수위-면적변화량 곡선과 평균 면적변화량 곡선, 2007년 유량측정성과, 2007년 수위-유량관계곡선식을 도시한 그림으로, 그 특성은 다음과 같다. 그림 12에 나타나 있는 바와 같이 단면특성이 변화되는 부분이 변화가 없는 부분보다 유량자료의 변동폭이 크게 발생하였으나, 유량측정성과에서는 곡선식의 구간분리 특성이 명확하게 나타나지 않았다. 곡성 지점에서는 2007년도의 측정 유량의 특성이 면적변화량의 경향성과 어느 정도 연관성을 갖고 있는지를 비교·분석하기 위해서 2007년 수위관측소 단면에서 생성된 수위-면적변화량 곡선과, 2007년 유량측정성과, 2007년 수위-유량관계곡선식을 그림 14~그림 16에 도시하여 분석하였다. 그림 14~그림 16에 나타나 있는 바와 같이 단면특성이 변화되는 부분에서는 유량측정자료의 변동폭이 크게 발생하였으나 구레2 지점 보다는 미약하였다.

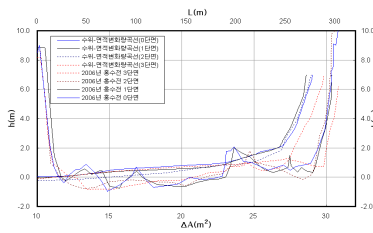


그림 11 수위-면적변화량곡선(구례2)

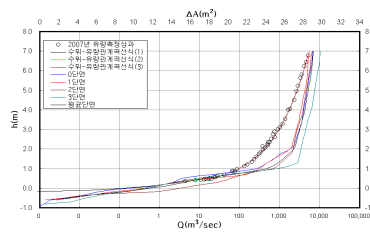


그림 12 수위-면적변화량곡선(구례2)

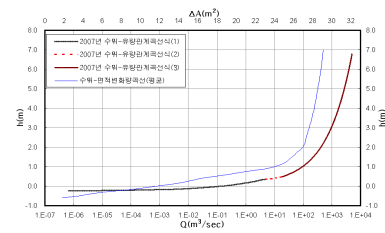


그림 13 수위-면적변화량곡선(구례2)

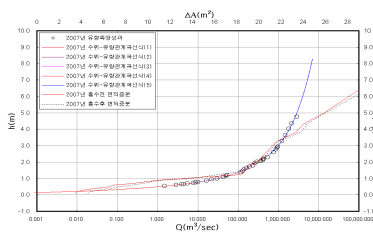


그림 14 수위-면적변화량 곡선(곡성)

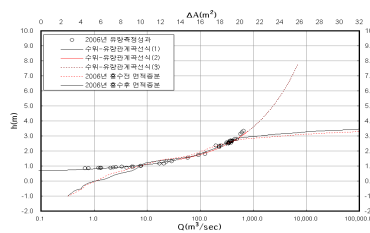


그림 15 수위-면적변화량 곡선(하리)

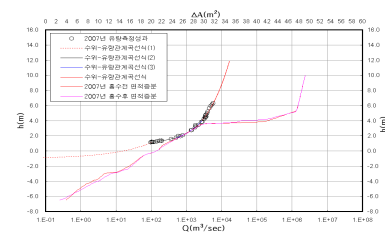


그림 16 수위-면적변화량 곡선(여주)

4. 결론

본 연구는 하도특성의 불규칙으로 수위와 유량이 단일 관계가 형성되지 않은 경우와 평상시 하도에 유수의 흐름이 지속되고, 하류지점에 통제구조물이 존재하지 않아 GZF 측정이 어려운 경우에 구간분리와 GZF 산정 시 범할 수 있는 오류를 최소화할 수 있는 수위-유량관계곡선식 개발 방법론적인 연구이다. 본 연구는 통제단면이 없는 지점, 하천의 상류부에 댐이 있어 평상시 흐름이 지속되나 GZF 실측이 어려운 지점인 송정, 구례2에 본 연구에서 개발한 시스템을 적용하였다. 그리고 수위-유량관계곡선의 신뢰도 검증에 위해 곡선식의 불확실도를 산정하였다. 산정된 수위-유량관계곡선식의 불확실도는 송정 지점이 0.50% ~ 1.20%, 평균 0.71%, 구례2 지점이 1.65% ~ 3.42%, 평균 2.28%로 산정되어 낮은 불확실도를 나타내었다. 수위와 면적의 관계를 규명하기 위해서 먼저 수위-면적곡선을 작성하였으며, 이를 바탕으로 수위별 면적변화량 곡선을 생성하였다. 수위별-면적의 관계는 구간분리의 가능성을 나타내주었으며, 지점별로 특성 등을 요약해보면 다음과 같다. 구례2 지점의 경우, 수위-면적곡선에서는 2가지 경향성으로 구분되어졌으나, 수위별 면적 변화량 곡선에서는 3개 구간의 구간분리 특성을 나타내었다. 곡성 지점의 경우에도 수위별 면적관계에서 2가지 경향성으로 구분되었으나, 수위별 면적 변화량 곡선에서는 7개의 구간으로 분리되는 단면의 특성을 가졌다. 하리 지점의 경우는 저수로 구간에서는 포물선 경향과 1차식의 경향을 가지는 2가지 경우로 나타났으나, 수위별 면적 변화량 곡선에서는 8개의 구간으로 분리되는 단면의 특성을 가졌다. 구간분리의 유무에 관한 연구는 현재 진행 중에 있으며, 향후에는 1단면, 2단면, 3단면까지 파악하여 단면 특성이 구간분리에 미치는 영향 등을 파악할 계획이다. 또한 하도 단면의 다양성을 고려하여 단면의 형상이 상이한 여러 수위관측소 지점을 선정하여 구간분리의 기준을 일차적으로 진행할 계획이다. 단면의 특성을 파악한 후에는 유량, 유속, 하상경사, 하도통제 등을 고려할 계획이다.

참고문헌

1. 건설교통부(2003~2005), 한국수문자료연보
2. 건설교통부 영산강홍수통제소(2004), 만경·탐진강수계 유량측정 조사 보고서
3. 건설교통부 영산강홍수통제소(2004), 섬진강 수계(상류부) 유량측정 조사용역 보고서
4. 건설교통부 영산강홍수통제소(2004), 섬진강 수계(하류부) 유량측정 조사용역 보고서