

Hydraulic Performance Graph(HPG)를 적용하여 배수구간에서의 유량추정

Discharge Estimation in Backwater Reach of River Using Hydraulic Performance Graph

권성일*, 김 원**, 김동구***, 김치영****, 이찬주*****

Sung Ill Kwon, Won Kim, Dong Gu Kim, Chi Young Kim, Chan Joo Lee

요 지

배수 영향을 받는 가상수로에서 HPG방법과 HPG의 자료를 사용하여 수면경사에 의한 접근방법으로 유량을 보정하였다. 각 case에 대하여, 가정된 상류수위와 유량에 대한 기준유량은 동일하였지만, 하류수위가 상승할수록 배수 영향이 커져 가정유량의 보정량이 크게 나타났다. HPG방법으로 계산된 유량에 대한 수면경사에 의한 접근방법으로 계산된 유량은 고유량에서 4.0%이하의 낮은 상대오차가 나타났다. 따라서 관측자료가 적을 경우, 계산이 쉽지 않은 수면경사에 의한 수위유량곡선방법보다는 HPG방법이 용이하다고 판단된다. 이후 이 방법을 실제 하천에 적용하여 관측유량과 계산유량을 비교, 검토할 계획이다.

핵심용어 : HPG, 배수구간, 수위유량곡선, 유량추정

1. 서 론

수위유량관계에서는 고리모형이나 하류의 배수 영향에 의하여 일정하지 않은 관계가 자주 나타난다. 고리모형의 수위유량관계곡선과 배수효과가 발생하는 지점에서의 수위유량관계곡선의 개발을 위한 연구가 발표되고 있다(Rantz et al., 1982, Kennedy, 1984). 특히, 댐이나 지류로 인하여 배수 영향을 받는 지점에서는 다른 두 지점에서 동시에 수위를 관측하여 이 자료를 사용하여 수위유량관계곡선을 개발하는 방법이 있으나, 이 경우, 이 구간에서 발생 가능한 모든 흐름에 대한 수위와 유량의 자료가 필요하다. 이를 위해서는 많은 시간, 경비 및 노력이 필요하게 되므로 본 연구에서는 이와 같은 자료를 간단히 요약해서 설명할 수 있는 HPG방법을 사용하여 유량을 추정하였다.

2. 방 법

하류지점의 댐이나 지류로 인하여 배수 영향을 받는 하천구간에서는 수위가 상승하는 현상이 발생한다. 이 때문에 상류지점의 동일한 수위에 대한 수위강하가 하나 이상 발생하게 되고, 유속의 변화로 유량이 변하게 된다. 이런 하천구간에서는 유량이 수위이외에 수위강하와 관련이 있기 때문에 수위유량곡선의 개발을 위해서 이 자료도 필요하다. 위와 같이, 유량, 수위 및 수위강하 자료를 사용하여 수위유량곡선을 개발하는 방법에는 USGS의 수면경사에 의한 수위유량곡선방법과 Gonzalez-castro(2000)가 제안한 HPG방법이 있다.

* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 박사후연구원 · E-mail : ksi1973@kict.re.kr
** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원 · E-mail : wonkim@kict.re.kr
*** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : kimdg@kict.re.kr
**** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : cy_kim@kict.re.kr
***** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : cOgnitum@kict.re.kr

2.1 HPG의 이론

기준단순수위유량곡선에서 기준상태는 정상등류로 마찰경사와 하상경사가 동일하고 유량은 등류유량이다. 이 때 기준유량(Q_r)과 일반유량(Q)의 관계는 다음 식(1)로 나타난다.

$$\frac{Q}{Q_r} = \frac{KA\sqrt{R}}{K_r A_r \sqrt{R_r}} \sqrt{\frac{S_0 - \left[\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{1}{gA} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\beta}{A} Q^2 \right) + \frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} \right]}{S_r}} \quad (1)$$

그러나 보통 자연 수로에서는 흐름방향으로 단면적과 하상경사가 변하기 때문에 기준단순수위유량곡선에서 사용되는 정상등류의 기준상태를 발견하기는 힘들다. 이에 좀 더 일반적인 기준단순수위유량곡선을 위한 기준상태로 수로에서의 평균수면경사와 평균하상경사가 동일한 정상등류를 정의한다(Schmidt, 2002). 이 때 기준유량과 일반유량의 관계식은 다음 식(2)와 같다.

$$\frac{Q}{Q_r} = \frac{KA\sqrt{R}}{K_r A_r \sqrt{R_r}} \sqrt{\frac{S_0 - \left[\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{1}{gA} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\beta}{A} Q^2 \right) + \frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} \right]}{S_0 + \frac{\beta Q_r^2}{gA_r^3} \left(\frac{\partial A}{\partial x} \right)_r}} \quad (2)$$

식(2)의 분자는 일련의 경계조건들에 대한 흐름을 나타내고, 분모는 정상등류의 기준상태에 대하여 분자를 간략화시킨 것이다. 적용되는 수로구간에서 이와 같은 흐름의 가정은 HPG에 의하여 요약될 수 있고, HPG는 일련의 유량들과 각 유량에서의 수위차이로부터 하천에서의 흐름의 시뮬레이션에 의하여 개발된다. 또한, HPG는 수로구간 양끝인 상하류지점의 수심이나 수위에 의하여 나타나는 모든 가능한 배수곡선의 결과를 요약하는 일련의 곡선들로 각 곡선들은 일정한 유량에 대한 것이다(그림 1 참조).

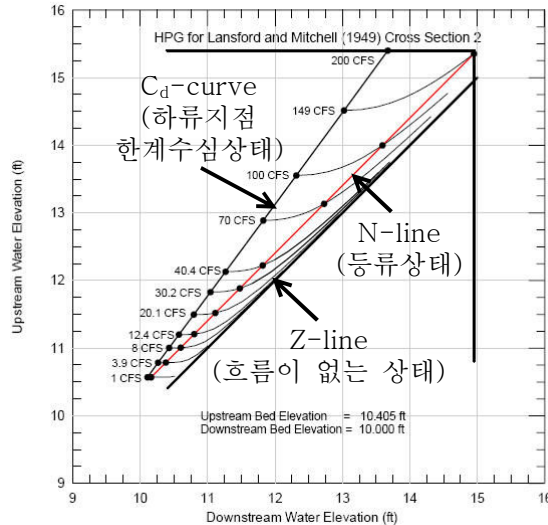


그림 1. 완경사수로에 대한 HPG의 예 (Schmidt, 2002)

2.2 이론수위유량곡선

이론수위유량곡선은 HPG의 N-line으로부터 얻을 수 있는 기준지점의 수위와 상하류지점의 수위차(Fall)를 사용하여 개발한다. 여기서 개발된 기준수위유량곡선, 기준수위강하곡선은 USGS의 수면경사에 의한 수위유량곡선방법의 기준곡선으로 사용된다. 이 때 보정곡선에서의 유량비와 수위강하비의 관계는 다음의 식(3)으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{Q}{Q_r} = \sqrt{\frac{S_0 - \frac{\partial h}{\partial x}}{S_r}} = \sqrt{\frac{S_w}{S_r}} \approx c \left(\frac{F}{F_r} \right)^k \quad (3)$$

여기서, c 와 k 는 상수이며, 구형수로에서 등류일 경우, c 는 1.0, k 는 0.5에 접근하게 된다.

2.3 유량추정방법

HPG와 이론수위유량곡선을 사용하여 유량을 추정하는 방법은 다음과 같이 요약한다.

- 1) 하천 적용 구간에 대한 HPG 개발.
- 2) HPG의 N-line에서 각 유량에 대한 상류지점의 수위 선택, 기준수위유량곡선 개발.
- 3) HPG의 N-line에서 각 유량에 대한 상하류지점의 수위차이(수위강하) 계산, 기준수위강하곡선 개발.
- 4) HPG에서 각 유량에 대한 수위차이 계산. 상류지점의 수위에 대한 기준수위유량곡선과 기준수위강하곡선으로부터 기준유량과 기준수위강하 계산.
- 5) 4)에서 계산된 유량비와 수위강하비의 관계가 식(3)에 적합하도록 보정곡선 개발.
- 6) 기준수위유량곡선과 기준수위강하곡선으로부터 상류지점의 관측수위에 대한 기준유량과 기준수위강하 계산, 기준수위강하와 관측된 수위강하의 비 계산, 보정곡선으로부터 수위강하비에 대한 유량비 계산, 이 유량비와 기준유량비를 곱하여 보정유량 계산.

3. 가상하도에 적용

상류지점의 동일 수위에 대하여 하류지점에서 배수 영향을 받아 수위가 상승하는 경우에 대한 유량보정의 계산을 가상수로인 구형수로와 복단면수로에서 실시하였다. 계산에 사용된 구형수로는 폭이 60m, 길이는 2,000m이었고, 복단면수로의 단면은 그림 2와 같고, 길이는 2,000m이었다. 또한 구형수로와 복단면수로의 하상경사는 0.00025이었다.

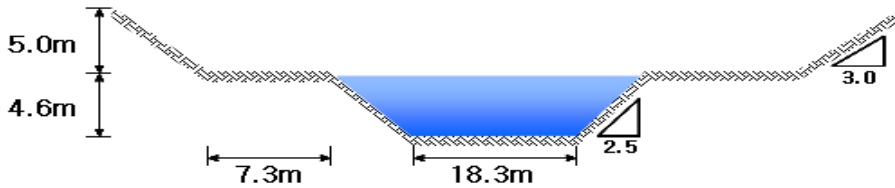


그림 2. 복단면수로의 단면도

상류수위가 하류수위의 영향을 받는 수위범위에서 하류수위가 상승하여 상하류지점간의 수위강하가 작아지는 경우를 고려한다. 이를 위해서, 상류수위가 동일한 경우에 대하여 각 유량에 대한 HPG상의 한 점을 선택(case 1)하고, 이 경우보다 하류지점의 수위가 조금 상승한 경우(case 2)와 크게 상승한 경우(case 3)에 대해서 살펴본다.

3.1 구형수로

그림 3에는 HPG와 각 case에 있어 가정유량에 대한 유량보정의 관계를 나타냈다. 각 case에 상류수위와 유량은 동일하다고 가정하였다. 이에 따라, 기준유량(Q_r)은 동일하였으나 하류지점 수위의 상승에 의해서 배수의 영향이 커져, 가정유량은 배수 영향에 대한 유량의 보정이 필요하게 된다. 하류지점의 수위상승이 큰 경우가 수위상승이 작은 경우보다 유량의 보정량이 크게 나타났다. 또한 수면경사에 의한 접근방법에서의 유량(Q)은 HPG에서의 유량($Q(\text{HPG})$)보다 200 cms이상에서 약 0.5% 높게 나타났다.

3.2 복단면수로

그림 4에는 HPG와 각 case에 있어 가정유량에 대한 유량보정의 관계를 나타냈다. 구형수로와 마찬가지로 각 case에 상류수위와 가정유량을 동일하게 유지하였다. 이로 인하여 기준유량(Q_r)은 동일하였으나 하류지점 수위의 상승에 의해서 배수의 영향이 커졌기 때문에 가정유량의 보정량도 크게 나타났다. 또한 수면경사에 의한 접근방법으로 계산된 유량(Q)은 HPG에서 계산된 유량($Q(\text{HPG})$)보다 130 cms이상에서 약 0.3% 높게 나타났다.

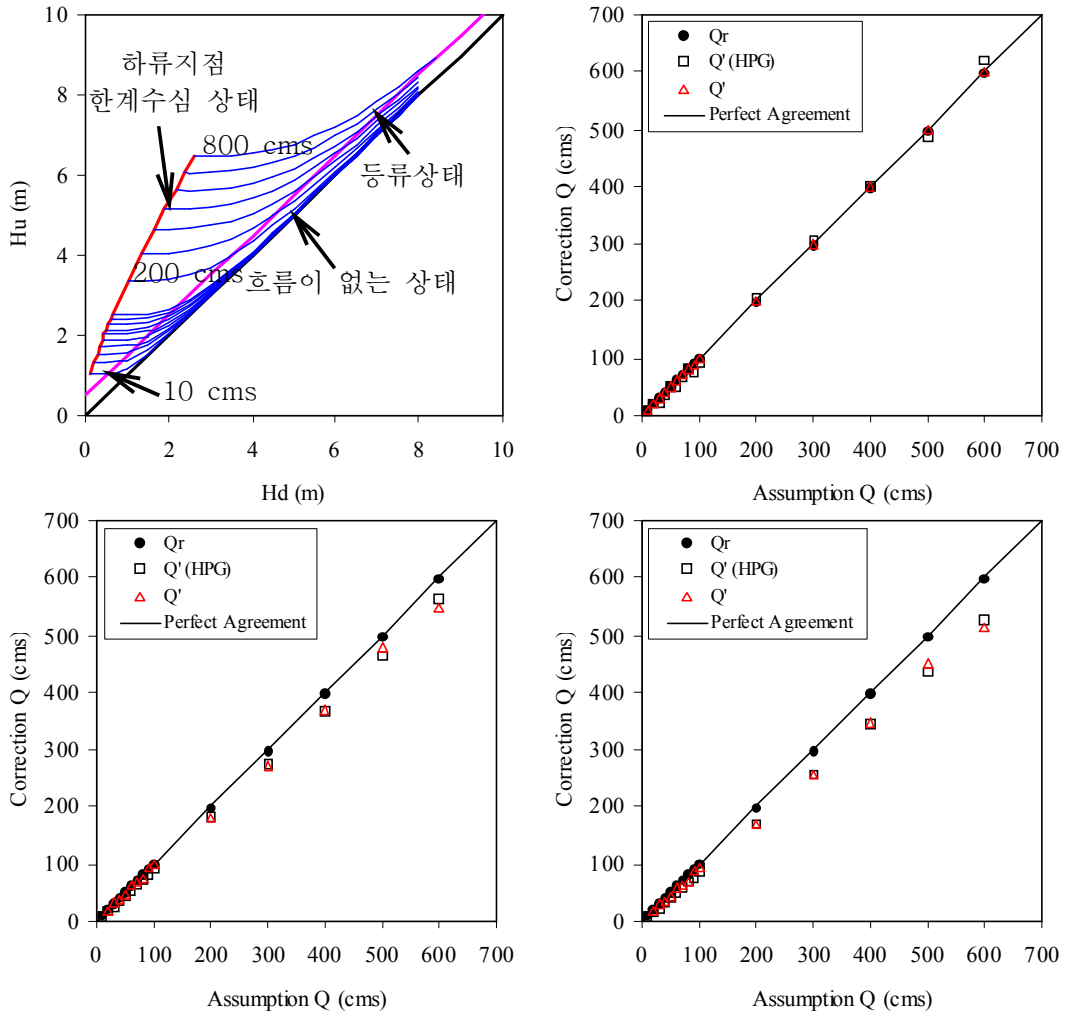


그림 3. 구형수로에서의 HPG와 각 case에서의 가정유량과 보정유량의 관계

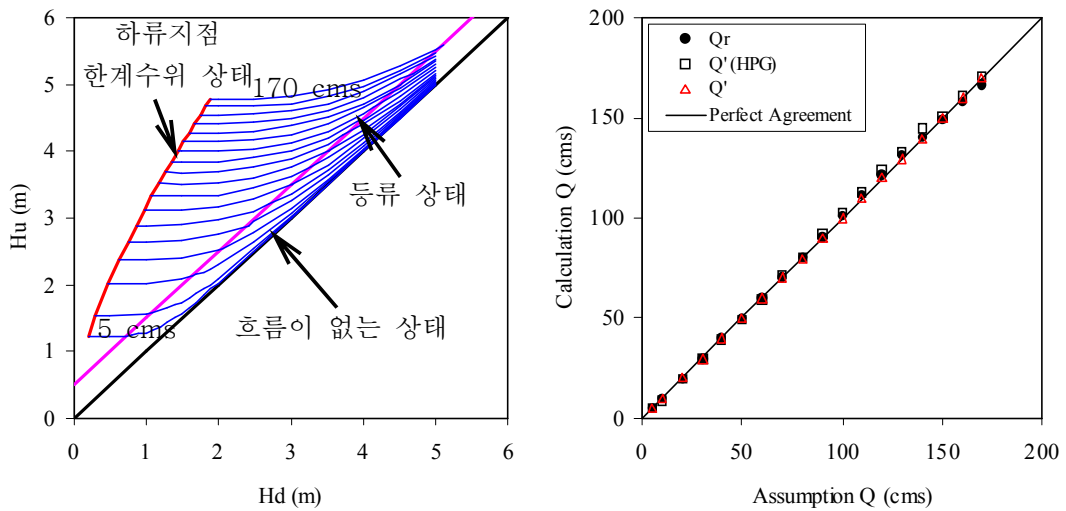


그림 4. 복단면수로에서의 HPG와 각 case에서의 가정유량과 보정유량의 관계

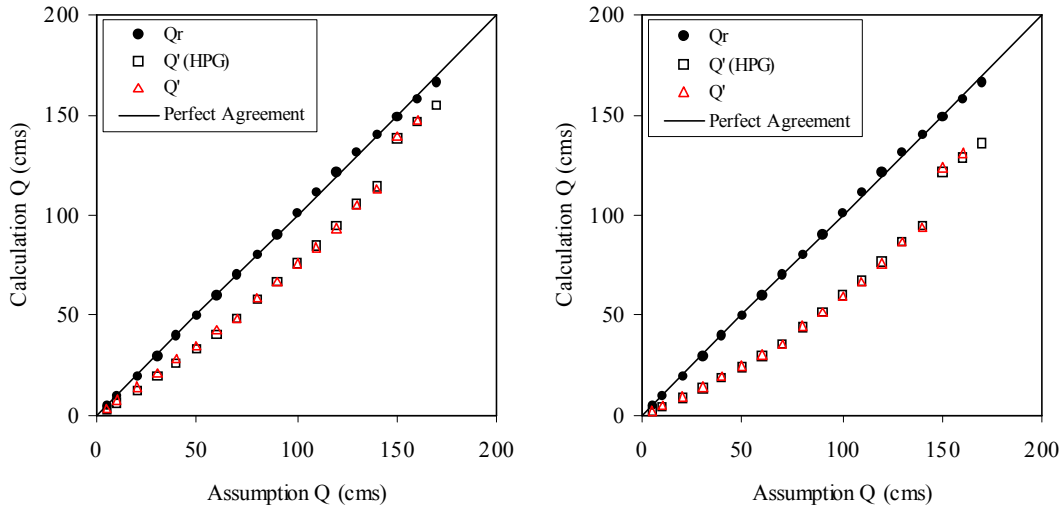


그림 4 계속

4. 결론

배수 영향을 받는 가상수로에서 HPG방법과 HPG의 자료를 사용하여 수면경사에 의한 접근방법으로 유량을 보정하였다. 각 case에 대하여, 가정된 상류수위와 유량에 대한 기준수위유량곡선에 의해 계산된 기준유량은 동일하였지만, 하류수위가 상승할수록 배수 영향이 커져 가정유량의 보정량이 크게 나타났다. HPG방법으로 계산된 유량에 대한 수면경사에 의한 접근방법으로 계산된 유량은 고유량에서 4.0%이하의 낮은 상대오차가 나타났다. 따라서 관측자료가 적을 경우, 계산이 쉽지 않은 수면경사에 의한 수위유량곡선방법보다는 HPG방법이 용이하다고 판단된다.

이 후, 이 방법을 실제 배수 영향을 받는 하천구간을 선정하여 적용하여 비교, 검토할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발 사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 2-1-3)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

1. Gonzalez-Castro, J. A., and Yen, B. C., 2000, Applicability of Hydraulic Performance Graph for Unsteady Flow Routing, Civil Eng. Studies, Hydraulic Engineering Series, Rept. No. 64, Univ. of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, Illinois.
2. Kennedy, E. J., 1984. Discharge ratings at gaging stations, Techniques of Water-Resources Investigations Book 3, Chapter A 10, U.S. Geological Survey.
3. Rantz, S. E., and others, 1982, Measurement and Computation of Streamflow : Volume 2. Computation of Discharge, Water-Supply Paper 2175, U. S. Geological Survey.
4. Schmidt, A.R., 2002, Analysis of Stage-Discharge Relations for Open-Channel Flows and their Associated Uncertainties, Ph.D. Thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, Department of Civil and Environmental Engineering.