

20AWMP-
C140010-
03

보안 과제(), 일반 과제() / 공개(), 비공개() 발간등록번호(11-B552989-000394-01)
물관리연구사업 최종보고서

R&D / 20AWMP-C140010-03

취·방류수
량 계측 및
취·방류
시설물
최적
운영을
통한
하천수
이용효율
향상 기법
개발

취·방류수량 계측 및 취·방류 시설물 최적 운영을 통한 하천수 이용효율 향상 기법 개발 부록

최
종
보
고
서

2020. 12. 31.

2020

주관연구기관 / 한국건설기술연구원
공동연구기관 / 한국수자원조사기술원
공동연구기관 / (주)리버앤씨

국
토
교
통
과
학
기
술
진
흥
원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

부록. 하천수 취수량 계측 표준지침

하천수 취수량 계측 표준지침

Standard Guideline for Instrumentation of River Water Intake

2020. 12. 31.

목차

1.0 개요	5
1.1 목적	5
1.2 적용범위	5
2.0 용어정의	6
3.0 하천수 취수량 계측방법	9
3.1 관수로의 취수량 직접 계측방법	10
3.1.1 수리실험 방법(Hydraulic experiments method)	10
3.1.1.1 벤추리미터(Venturimeter)	10
3.1.1.2 유량측정용 노즐(Nozzle)	11
3.1.1.3 오리피스(Orifice)	12
3.1.1.4 피토편(Pitot pipe)	12
3.1.2 관유량계 방법(Pipe flowmeter method)	14
3.1.2.1 초음파식 관유량계(Acoustic doppler pipe flowmeter)	14
3.1.2.2 전자기식 관유량계(Electromagnetic pipe flowmeter)	14
3.1.2.3 기타 관유량계(Etc. pipe flowmeter)	15
3.2 개수로의 취수량 직접 계측방법	17
3.2.1 구조물법(Structure method)	17
3.2.1.1 예연 위어(Sharp-crested weir)	18

3.2.1.2	광정 위어(Broad-crested weir)	24
3.2.1.3	플룸(Flume)	29
3.2.1.4	수문(Sluice gate)	32
3.2.2	수위-유량관계법(H-Q rating curve)	34
3.2.3	전자파법(Microwave method)	36
3.2.3.1	환산계수법(Scale factor method)	38
3.2.3.2	유속분포법(Velocity distribution method)	38
3.2.3.3	지표유속법(Index velocity method)	41
3.2.4	초음파법(Acoustic doppler method)	42
3.2.4.1	유속분포법(Velocity distribution method)	44
3.2.4.2	지표유속법(Index velocity method)	44
3.3	유량 간접 계측방법	45
3.3.1	전력량법(Electric energy method)	45
3.3.1.1	이론식(Theoretical equation)	45
3.3.1.2	적용사례(Application)	47
3.3.2	가동시간법(Operating method)	49
3.3.2.1	이론식(Theoretical equation)	49
3.3.2.1	적용사례(Application)	49
3.2.4	수요량 추정(Demand estimation)	51
4.0	하천수 취수량 계측자료의 관리	52
4.1	취수량 계측자료의 정리	52
4.2	취수량 계측자료의 보고	54

4.3 취수량 계측자료의 보존	55
------------------------	----

5.0 참고자료	56
----------------	----

1.0 개요

1.1 목적

하천수의 통합적인 관리를 위해 하천수 취수량의 정량적인 계측 및 수집, 보고, 관리 등이 필요하다. 「하천법[2020.06.09.]」, 「하천수의 사용 및 관리 등에 관한 규칙[2018.6.14.](약칭:하천수규칙)」에서는 하천수 사용자는 유량계(流量計)를 설치하여야 하는데, 수문 조작 등의 방법으로 하천수의 사용량을 측정할 수 있는 경우에는 유량계를 설치하지 아니할 수 있는 것으로 명시되어 있다. 본 지침에서는 하천수 취수형태별 표준 계측방법을 제시하고, 계측방법별 특성과 유량 산정방법을 수록하여 하천수 사용자의 최적 계측방법 선정을 지원하는 것에 목적이 있다.

1.2 적용범위

1.2.1 하천수를 취수하는 사용자를 대상으로 양수장(Pumping station) 시설, 취수보(Intake weir) 시설을 대상으로 한다.

1.2.2 양수장 시설은 양수관(Pumping pipe)내의 유량 계측방법, 토출구(Discharge port)에 연결된 개수로(Open channel)에서의 유량 계측방법을 대상으로 한다.

1.2.3 취수보 시설은 취수 구조물을 통해 취수량을 도수(Water conveyance)하는 개수로에서의 유량 계측방법을 대상으로 한다.

2.0 용어정의

2.1 간접 계측방법(Indirect instrumentation)

하천수 취수량을 산정하기 위해 직접적으로 관련이 있는 수위(Water level), 유속(Velocity) 등의 측정이 어려운 경우, 전력사용량, 수요량의 추정 등을 이용해 유량을 계측하는 방법이다. 전력량법(전력사용량-유량 관계), 가동시간법(양정시간동안의 전력사용량-유량 관계), 수요량 추정 등이 있다.

2.2 개수로(Open channel)

수리학(Hydraulics)적으로 대기와 수면이 직접 접해 있는 수로이다. 수로의 기울기, 즉 중력에 의해서 흐름이 생기는 수로이다.

2.3 계측(Instrumentation)

다양한 방법과 장치를 이용하여 실제 현상을 양적으로 파악하는 것으로 측정(Measurement)보다 넓은 범위의 내용을 함축한다. 계측(Instrumentation)은 가장 적합한 측정방법의 선정에서부터 측정장비의 설치 및 운영, 그리고 측정자료의 활용까지를 포함한다.

2.4 관수로(Pipe channel)

관내의 단면이 만관(Full-pipe) 상태인 흐름의 수로로서, 관수로의 흐름은 압력차에 의해서 발생한다.

2.5 구조물법(Structure method)

다양한 수리구조물의 특성에 따라 이론식으로 유량을 산정하는 방법이다. 구조물의 방류구(Outlet) 형태에 따라 이론식이 구분되며, 방류구로 방류되는 수위(Water level)를 측정하여 유량을 산정한다.

2.6 양수장(Pumping station)

하천수를 사용함에 있어 수면(Water surface)이 관개지역보다 낮아 자연유하식 관

개(Gravity irrigation)를 할 수 없는 경우 양수기(Water pump)를 설치하여 물을 높은 곳으로 퍼올려 용수로 사용하기 위한 일종의 수원공시설이다.

2.7 양정(Pumping head)

흡입(Suction) 수표면으로부터 토출(Discharge) 수표면까지의 높이를 실양정(Actual head)이라 하며, 도중의 손실을 감안한 것을 전양정(Total head)이라고 한다.

2.8 전력량법(Electric energy method)

양수장의 전력사용량(Electricity consumption)과 하천수 취수량간의 상관관계를 이용하여 간접적(Indirect)으로 유량을 산정하는 방법이다.

2.9 전자파법(Microwave method)

전자파 표면유속계(Microwave water surface current meter)로 측정한 국소적인 영역의 표면유속으로 단면의 평균유량(Mean discharge)을 산정하는 방법이다.

2.10 직접 계측방법(Direct instrumentation)

하천수 취수량을 산정하기 위해 직접적으로 관련이 있는 수위(Water level), 유속(Velocity) 등을 측정하여 유량을 계측하는 방법이다. 수위-유량관계법, 전자파법, 초음파법 등이 있다.

2.11 초음파법(Acoustic method)

초음파 유속계(Acoustic doppler velocity meter)로 측정한 국소적인 영역의 유속으로 단면의 평균유량(Mean discharge)을 산정하는 방법이다.

2.12 취수(Intake)

생활·공업·농업용수 등 각종 용수로 이용하기 위해 수원(Source of water supply)에서 필요 수량을 받아들이는 것으로, 본 지침에서는 용수로 이용하기 위해 하천수를 사용하는 것을 말한다.

2.13 취수보

농업용수의 취수에 필요한 수위 및 유량을 확보하기 위하여 하천을 횡단하여 일부 하천의 흐름을 막는 구조물로서, 일반적으로 취수보 위치보다 상류의 인근에서 취수구를 통해 자연유하식 관개(Gravity irrigation)를 수행한다.

이외의 용어는 KS B ISO 772의 ‘수문계측-용어와 기호’를 참고하도록 한다.

3.0 하천수 취수량 계측방법

본 장에서는 하천수 취수량을 계측할 수 있는 직·간접 계측방법들에 대해 기술하였다. 대표적인 하천수 사용 수리시설물은 양수장과 취수로로 각각의 시설물별 적용 가능한 계측방법을 <Table 2>와 같이 소개하였다.

양수장에서는 취수 유입관의 관수로와 토출부의 개수로를 통해 직접 계측방법 적용이 가능하고, 취수로에서는 개수로에서 직접 계측방법 적용이 가능하다. 직접 계측방법 적용에 어려움이 있는 지점에서는 간접 계측방법을 통해 취수량의 산정이 가능하다. 각각의 계측방법에 대한 설명과 유량을 산정하는 방법은 후술하였다.

<Table 2> 하천수 취수량 계측방법

시설형태	수로형태	계측방법			특이사항
양수장	관수로	직접	수리실험 방법	벤츄리미터, 유량측정용 노즐, 오리피스, 피토크	- 신뢰도 높은 자료 확보 가능 - 연속적인 관측이 가능함 - 기존관에 연결이 필요하여 추가시공 필요
			관유량계 방법	초음파식, 전자기식, 기타	- 신뢰도 높은 자료 확보 가능 - 연속적인 관측이 가능함 - 기존관에 연결이 필요하여 추가시공 필요
		간접	전력량법	전력사용량-유량 관계	- 비교적 신뢰도 높은 자료 확보 가능 - 연속적인 관측이 가능함 - 전력사용량 제공이 되는 고압사용 지점
			가동시간법	펌프가동시간-유량 관계	- 비교적 신뢰도 높은 자료 확보 가능 - 연속적인 관측이 가능함 - 펌프 제원의 자료 확보가 필요함
			수요량 추정	수혜면적 비율 추정	- 자료의 신뢰도가 낮음 - 농사방식, 작물 등의 편차가 큼
	개수로	직접	구조물법	위어, 플룸, 수문 등 구조물별 이론식	- 지점별 상황에 따라 이론식 개선이 필요함 - 제원, 운영방식 등의 자료가 필요함 - 적용후 검증용 측정 필요
			수위-유량관계법	회전식, 전자파, 초음파 유속계 등을 이용한 수위-유량관계곡선식	- 점단위의 신뢰도 높은 자료 확보 가능 - 연속적인 자료 확보를 위해 다양한 수위에서의 측정 필요
			초음파식	도플러 방식, 이동시간차 방식	- 신뢰도 높은 자료 확보 가능 - 설치후 검증용 측정 필요 - 유량산정을 위해 후속적인 연구 필요
			전자파식	도플러 방식	- 신뢰도 높은 자료 확보 가능 - 설치후 검증용 측정 필요 - 유량산정을 위해 후속적인 연구 필요
취수로		간접	수요량 추정	수혜면적 비율 추정	- 자료의 신뢰도가 낮음 - 농사방식, 작물 등의 편차가 큼

3.1 관수로의 취수량 직접 계측방법

취수하려는 하천의 수면이 관개지역보다 낮아 자연유하식 관개가 어려운 경우, 양수장의 펌프를 이용해 높은 지역으로 물을 퍼올려 용수를 공급한다. 본 지침에서는 양수장에서 양수관을 이용해 하천수를 취수할 때 관내의 유량을 계측할 수 있는 방법에 대해 정리하였다.

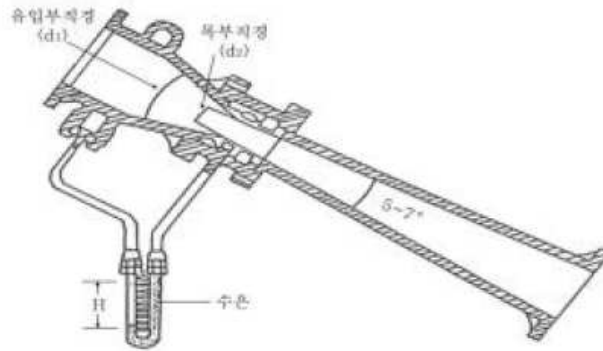
수리실험용 계측장비인 벤추리미터, 유량측정용 노즐, 오리피스, 피토관을 이용해 유량을 측정하는 방법과 관유량계를 이용해 유량을 측정하는 방법으로 구분하였다. 수리실험 방법의 경우, 수리학적 이론식에 의해 신뢰도 있는 자료를 확보할 수 있으나, 기존의 양수관에 영향을 미치는 시공이 필요하여 양수장 관리기관의 협의가 필요하다. 관유량계의 경우, 생·공용수 등 실제 적용되고 있는 검증받은 유량계가 다수 존재하고 있어 정확도 측면에서 신뢰도가 높으나, 초음파식, 전자기식, 회전식 등 다양한 방법별로 양수관에 영향을 미치는 경우가 있어 양수장 상황에 적절한 계측방법 선정이 필요하다. 각각의 계측방법별 장단점과 유의사항, 유량산정 방법 등을 후술하였다.

3.1.1 수리실험 방법(Hydraulic experiments method)

수리실험 방법은 수리학적 이론식으로 유량 산정이 가능한 벤추리미터, 유량측정용 노즐, 오리피스, 피토관 등의 실험용 계측기기들에 대해 소개하였다. 이론식을 통해 정확도 높은 유량산정이 가능하나, 농업용수 취수와 같이 유수의 탁도 및 부유물이 많은 경우, 계측의 정확성에 문제가 있을 수 있어 실제 취수량 측정에 적합하지 않을 수 있다.

3.1.1.1 벤추리미터(Venturimeter)

벤추리미터(Venturi meter)는 <Fig. 1>과 같이 단면이 작은 목(Throat)부분으로 점점 축소 및 확대되는 단면을 가진 관으로 축소부분에서 정역학적 수두의 일부는 속도 수두(Velocity head)로 변하게 되어 관의 목부분의 정역학적 수두보다 적게 된다. 이러한 수두의 차에 의해 <Eq. 1>과 같이 직접적으로 유량을 계산할 수 있다.



<Fig. 1> 벤츄리미터

$$Q = \frac{CA}{\sqrt{1 - \left[\frac{d_2}{d_1}\right]^4}} \sqrt{2g \cdot H} \quad \text{<Eq. 1>}$$

여기서, Q : 유량(m^3/s)

C : 유량계수

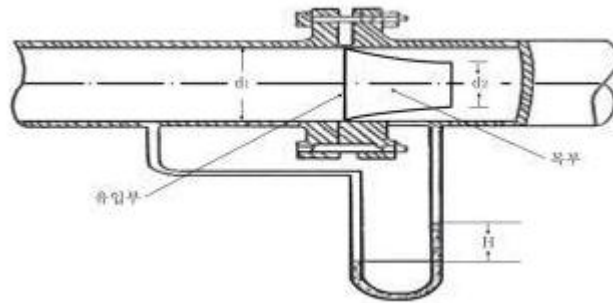
A : 목부분의 단면적(m^2) $\left[= \frac{\pi d_2^2}{4}\right]$

H : 수두차(m)

g : 중력가속도($9.80 m/s^2$)

3.1.1.2 유량측정용 노즐(Nozzle)

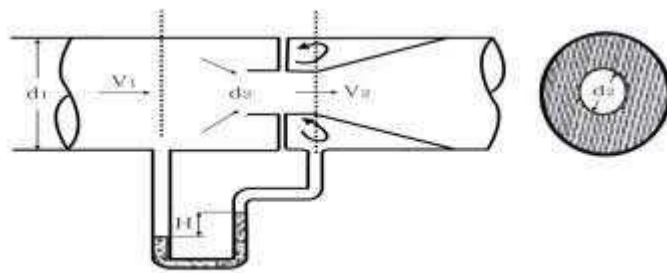
유량측정용 노즐은 벤츄리미터와 오리피스와 동일한 원리로 만든 <Fig. 2>와 같은 유량측정용 기구로서 정수압이 유속으로 변화하는 원리를 이용한 것이다. 벤츄리미터의 유량 공식<Eq. 1>을 유량측정용 노즐에도 이용할 수 있다.



<Fig. 2> 유량측정용 노즐

3.1.1.3 오리피스(Orifice)

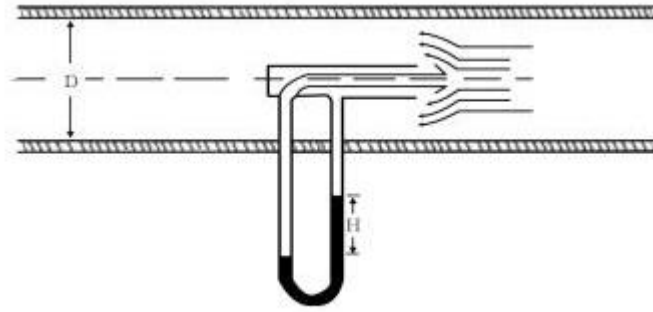
오리피스는 벤추리미터와 유량측정용 노즐과 동일한 원리를 가지며, <Eq. 1>을 이용하여 유량을 산정할 수 있다. 오리피스는 <Fig. 3>과 같이 단면이 축소되는 목부분을 조절함으로써 유량을 조절할 수 있다.



<Fig. 3> 오리피스

3.1.1.4 피토펜(Pitot pipe)

피토펜의 유속은 마노미터에 나타나는 수두 차에 의해 산정된다. <Fig. 4>와 같이 좌측 관은 정수압(Hydrostatic pressure)을 측정하고 우측 관은 유속이 0인 상태의 정체압력(Stagnation pressure)을 측정하여 <Eq. 2>와 같이 유량을 산정한다. 피토펜으로 측정할 때는 반드시 일직선상의 관에서 이루어져야 하며, 관의 설치장소는 엘보우(Elbow), 티(Tee)등 관이 변화하는 지점으로부터 최소한 관 지름의 15~50배 정도 떨어진 지점이어야 한다.



<Fig. 4> 피토관

$$Q = C \cdot A \cdot V \quad \text{<Eq. 2>}$$

여기서, Q : 유량(m^3/s)

C : 유량계수

A : 관의 유수단면적 (m^2) $[= \frac{\pi D^2}{4}]$

V : $\sqrt{2g \cdot H}(m/s)$

H : 수두차(m)

g : 중력가속도($9.80m/s^2$)

H_s : 정제압력 수두(m)

H_o : 정수압 수두(m)

D : 관경(m)

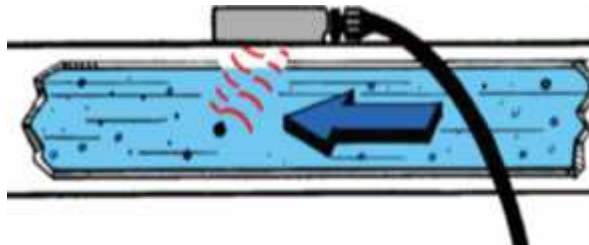
3.1.2 관유량계 방법(Pipe flowmeter method)

관유량계는 생·공용수 계측 등에 사용되고 있어, 정확도의 검증이 이루어진 계측기기가 시중에 많이 상용화되어 있다. 유량산정에 대한 정확도를 확보할 수 있기 때문에, 추가적인 유량산정 이론 등에 대해서는 언급하지 않고, 형태 및 방식별 장단점과 적용성의 비교를 기술하였다.

3.1.2.1 초음파식 관유량계(Acoustic doppler pipe flowmeter)

초음파식 관유량계는 물의 부유물이나 기포에 의해 반사되는 주파수 변이(도플러 효과)를 이용하여 유속을 측정하며, 관 면적을 적용하여 유량을 산정한다. 초음파식 관유량계는 생·공용수량 계측시 이용되고 있어, 추가적인 검증 없이도 정확도 높은 유량자료를 산정할 수 있다.

초음파식 관유량계는 <Fig. 5>와 같이 양수관의 외부에 부착하여 만관 상태의 관내 흐름을 측정하기 때문에, 관의 외관에 영향을 미치지 않아 설치에 용이하다. 또한, 기타 침습식의 관내에 설치하는 유량계들에 비해 관 외부에 부착하기 때문에, 장비의 손상실이나 보수 등 유지관리의 측면에서 효과적이다.



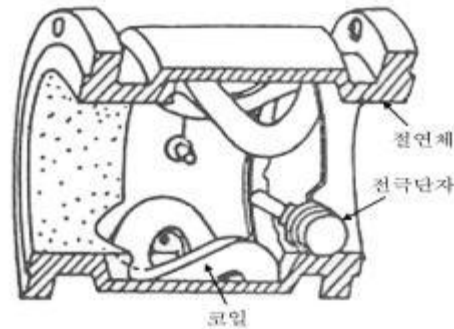
<Fig. 5> 초음파 관유량계

3.1.2.2 전자기식 관유량계(Electromagnetic pipe flowmeter)

전자기식 관유량계의 측정원리는 패러데이(Faraday)의 법칙을 이용하여 자장의 직각에서 전도체를 이동시킬 때 유발되는 전압은 전도체의 속도에 비례한다는 원리를 이용한 것으로 이 경우 전도체는 취수된 하천수가 되며, 전도체의 속도는 유속이 된다. 이때 발생된 전압은 유량계 전극을 통하여 조절변류기로 전달된다. 전자기식 역시 검증된 상용품들이 있어 유량자료의 신뢰도를 확보할 수 있다.

전자기식 관유량계는 전압이 활성도, 탁도, 점성, 온도의 영향을 받지 않고 다만 유체(폐.하수)의 유속에 의하여 결정되며 수두손실이 적다. 유량 계측을 위해서는 <Fig. 6>과 같은 관유량계를 양수관 중간 부분이나, 말단에 연결하여야 하기 때문

에, 기존 관의 형태가 변형될 수 있는 추가적인 시공이 필요하다. 전자기식 관유량계는 <Eq. 3>과 같이 다음의 공식을 이용하여 유량을 산정한다.



<Fig. 6> 전자기식 관유량계

$$Q = C \cdot A \cdot V \quad \text{<Eq. 3>}$$

여기서, Q : 유량(m^3/s)

C : 유량계수

A : 관의 유수단면적(m^2)

V : 유속(m/s) [$= \frac{E}{B \cdot D} 10^6$]

E : 기전력

B : 자속밀도 (GAUSS)

D : 관경(m)

3.1.2.3 기타 관유량계(Etc. pipe flowmeter)

앞서 기술한 유량계 이외에 터빈식, 패들휠(Paddle wheel), 용적식(Positive displacement meter) 등 다양한 형태의 관유량계가 존재한다. 하지만 대부분의 관유량계 형식이 부유물이 적은 깨끗한 유수에서 사용이 용이하고, 기존의 관을 변형해야 하는 시공이 필요하기 때문에 농업용수 취수량 측정에 적합하지 않을 수 있다.

터빈식은 <Fig. 7>과 같이 관내에 설치된 회전장치가 유속에 비례하여 회전할 때의 회전수를 유량으로 환산하는 방법이다. 기종에 따라 다르지만 일반적으로 0.5% 내외의 높은 정확도를 보여준다.

패들휠은 <Fig. 8>과 같이 터빈식과 유사하나 외륜 형식의 회전장치 회전을 통해 유량을 산정하는데, 정확도 및 경제성이 좋다. 하지만, 터빈식과 마찬가지로 유수가

깨끗해야 일정한 성능을 유지할 수 있다.

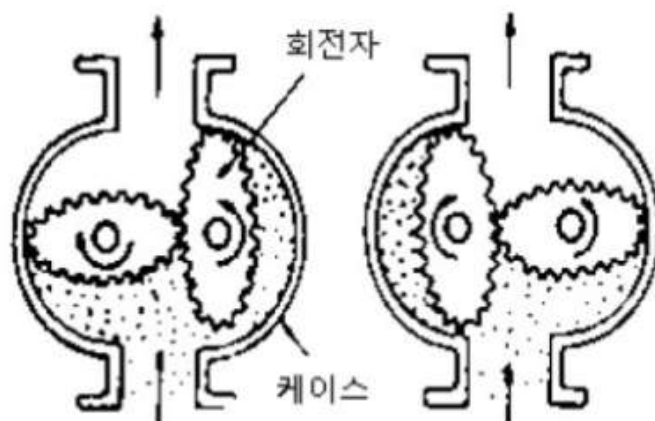
용적식은 <Fig. 9>와 같이 일정 용적의 계량실에 측정 유체를 유입시켜 통과한 체적은 측정하는 형식이다.



<Fig. 7> 터빈식 관유량계



<Fig. 8> 패들휠 관유량계



<Fig. 9> 용적식 관유량계

3.2 개수로의 취수량 직접 계측방법

하천수 취수량은 개수로를 통해 수요지로 전달되는 경우가 일반적이다. 양수장에서는 펌프를 이용해 양정된 하천수를 토출부를 통해 개수로로 방류하여 수요지로 도수하고, 취수보에서는 수문과 같은 구조물을 통해 개수로로 취수하여 수요지로 도수한다.

개수로에서 유량을 직접적으로 계측할 수 있는 방법은 다양하지만, 본 지침에서는 여러 선행연구를 통해 정확도가 검증된 구조물법, 수위-유량관계법, 전자파법, 초음파법을 소개하였다. 각각의 계측방법별 장단점과 유의사항, 유량산정 방법 등을 후술하였다.

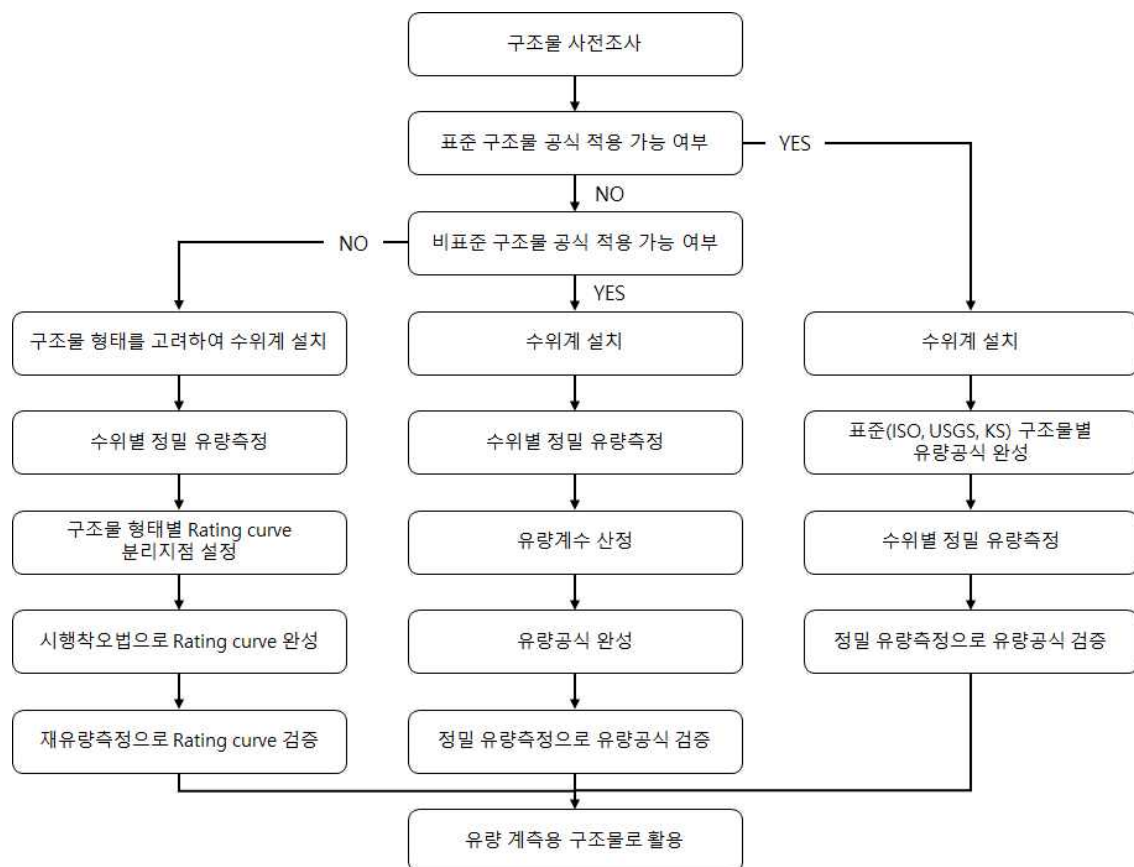
3.2.1 구조물법(Structure method)

구조물법은 수리구조물의 특성에 따라 위어(Weir), 플룸(Flume), 수문(Gate) 등으로 구분되는데, 각각의 이론식을 통해 방류구 수위별 유량을 산정할 수 있다. 구조물법을 이용한 이론식은 수위에 의한 단일 함수로 이루어져 있기 때문에, 수위 계측기만 구비된다면 유량을 산정할 수 있다는 장점이 있다. 하지만, 유량측정의 정확도 측면에서 타 계측방법들에 비해 낮은 정확도를 가진다. 확보된 수위자료의 연속성에 따라 유량자료의 연속성이 결정된다. 구조물의 종류는 국제표준화기구(International organization for standardization, ISO)에 따라 <Table 2>와 같이 구분하였다.

<Table 3> 구조물법 적용 범위

구분		국제 규격	비고
위어	예연 위어 1) 직사각형 2) 삼각형 3) 사다리꼴	ISO 1438 ISO 4360 ISO 4362	방류구가 직사각형인 위어로 댐 여수로 등에서 사용된다. 방류구가 삼각형인 위어로 정확한 소규모 유량측정시 사용된다. 방류구가 사다리꼴인 위어이다.
	광정 위어 1) 직사각형 2) 삼각형 3) 둥근모서리형 4) V자형	ISO 8333 ISO 9827 ISO 4377 ISO 4374	일반 위어에 비해 정상부가 넓은 위어로 유량 산정을 위한 수심 고려시 월류수심에 접근유속수두를 추가하여야 한다. 방류구는 일반 위어와 같이 다양하고, 주로 하천의 보 구조물에서 사용된다.
플룸	1) 사각형 2) 사다리꼴형 3) U자형 4) 파살플룸	ISO 4359 ISO 1983 ISO 9826 ISO 1996	특정구간의 단면적을 좁혀 수위와 유속에 변화를 주어 유량을 계측하는 구조물이다.
수문		ISO 13550	수문의 개도율에 따라 유량을 산정할 수 있다.

구조물의 사전조사를 통해 구조물의 표준 여부에 따라 유량 계측 절차가 구분된다. ISO, USGS, KS 등 국내외 표준 규격에 해당하는 구조물일 경우 현장에 수위계를 설치하고, 표준에 제시되어 있는 계수들로 유량공식을 완성한 뒤 수위별 정밀 유량 측정 결과와의 비교 검증을 통해 유량을 산정하도록 한다. 표준에 해당하지 않는 구조물일 경우 수위별 정밀 유량측정을 통해 유량계수를 결정하고 완성된 유량공식을 재검증하여 유량을 산정하도록 한다. 마지막으로 구조물의 형태가 유량공식을 사용하기 어려운 경우, 수위-유량관계식을 이용해 유량을 산정할 수 있도록 검증을 통해 공식을 완성하여 유량을 산정한다. 이상의 내용은 <Fig. 10>과 같이 정리하였다.



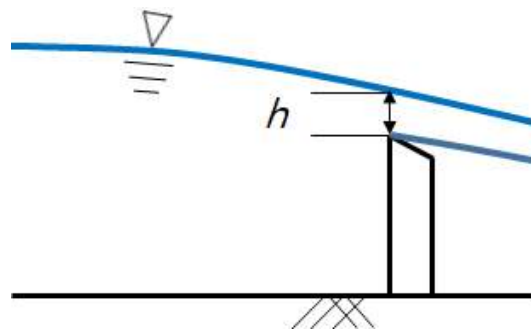
<Fig. 10> 구조물별 유량 계측 절차

3.2.1.1 예연 위어(Sharp-crested weir)

수로를 횡단하여 설치한 장벽 상단으로 물이 흐르는 구조물을 위어라고 한다. 위어 마루부의 폭이 좁고, 끝부분이 날카로운 금속판 등으로 되어 있어 방류구에서의 흐름이 자유 낙하하는 구조물을 <Fig. 11>과 같이 예연 위어라고 정의한다.

예연 위어의 공식은 다양하지만, 유량을 산정하기 위해 필요한 변수는 위어의 방류구 수위 h 이다. 예연 위어의 구조상 상류의 흐름은 하류 수위의 영향을 받지 않아 방류구 수위의 측정만으로도 유량을 산정할 수 있다. 수위계만으로 유량 산정이 가능하여 경제성 면에서 탁월하고, 하상이 변하지 않아 지배 단면이 항상 일정해 산정된 유량의 변동성이 매우 적을 수 있다. 다만, 수위가 높아져 위어가 잠기게 되면 유량 산정식의 기능을 상실하게 되어 저수시에 활용할 수 있다.

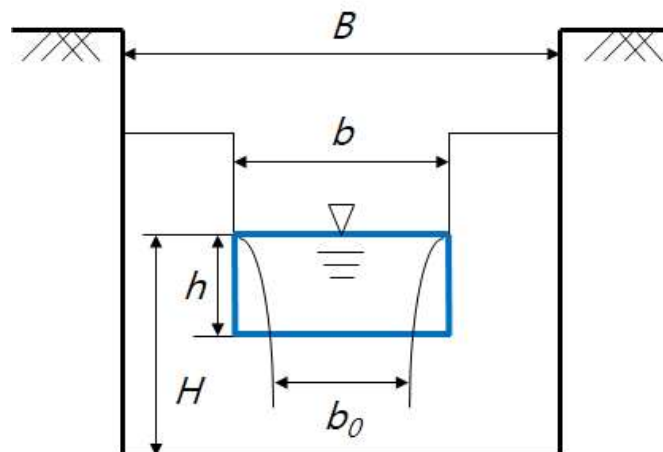
가스식, 레이더식, 부자식, 압력식, 전자파식, 초음파식 등 다양한 수위계의 적용이 가능하나, 위어의 방류구 크기 및 현장 상황에 따라 적용할 수 있는 수위계에 제약이 있을 수 있다.



<Fig. 11> 예연 위어

1) 직사각형 예연 위어(Rectangular sharp-crested weir)

<Fig. 12>와 같이 방류구 모양이 직사각형인 위어는 댐 여수로 등에서 사용되며, 단수축을 고려해서 <Eq. 4>과 같이 유량을 산정할 수 있다.



<Fig. 12> 직사각형 예연 위어

$$Q = \frac{2}{3} C \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{\frac{2}{3}} \quad \text{<Eq. 4>}$$

여기서, Q : 유량(m^3/s)

C : 유량계수

b : 위어의 폭(m)

g : 중력가속도($9.80 m/s^2$)

h : 월류수심(m)

직사각형 예연 위어의 유량산정 실험식은 Francis공식, Kindsvater-Carter공식, Rehbock공식, Hamilton-Smith공식, HRS공식을 소개하였다. 이외에도, Bazin공식, Freze공식, 오키공식 등 다양한 이론식이 있다.

Francis공식은 <Eq. 5>와 같이 유량을 산정할 수 있다.

$$Q = 1.84 b_0 \cdot h^{\frac{2}{3}} \quad \text{<Eq. 5>}$$

여기서, Q : 유량(m^3/s)

b_0 : 유효폭(m) [$b - 0.1nh$]

b : 위어의 폭(m)

양단수축 : $n = 2$

일단수축 : $n = 1$

수축없음 : $n = 0$

h : 월류수심(m)

Kindsvater-Carter공식은 <Eq. 6>과 같이 유량을 산정할 수 있다. k_b 의 값은 <Table 3>을 참조하고, 유량계수 C 는 <Table 4>와 같다.

$$Q = \frac{2}{3} C \cdot b_e \cdot \sqrt{2g} \cdot h_e^{\frac{2}{3}} \quad \text{<Eq. 6>}$$

여기서, Q : 유량(m^3/s)

C : 유량계수(Table 4 참조) [$= 0.602 + 0.075 \frac{h}{P}$]

b_e : 위어의 폭(m) [$= b + k_b$]

g : 중력가속도($9.80 m/s^2$)

h_e : 월류수심(m)[$=h+k_h$]

k_b : 점성과 표면 장력 효과의 절대 측정치(Table 5 참조)

k_h : 상수값(0.9 mm)

<Table 3> b/B 에 대한 k_b 의 값

b/B	0.10	0.20	0.40	0.60	0.80	0.90	1.00
$k_b(mm)$	2.4	2.4	2.6	3.5	4.2	3.8	0

<Table 4> b/B 에 대한 C 의 값

b/B	0.9	0.8	0.7	0.6	0.4	0.2	0
C	$0.598+0.064\frac{h}{P}$	$0.596+0.045\frac{h}{P}$	$0.594+0.300\frac{h}{P}$	$0.593+0.018\frac{h}{P}$	$0.591+0.006\frac{h}{P}$	$0.589-0.002\frac{h}{P}$	$0.587-0.002\frac{h}{P}$

Rehbock공식은 <Eq. 7>과 같이 유량을 산정할 수 있다.

$$Q = \frac{2}{3} C \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot h_c^{\frac{2}{3}} \quad \text{<Eq. 7>}$$

여기서, Q : 유량(m^3/s)

C : 유량계수[$=0.602+0.083\frac{h}{P}$]

b : 위어의 폭(m)

g : 중력가속도($9.80 m/s^2$)

h : 월류수심(m)

h_c : 월류수심(m)[$=h+0.0012$]

Hamilton-Smith공식은 <Eq. 8>과 같이 유량을 산정할 수 있다.

$$Q = \frac{2}{3} C \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{\frac{2}{3}} \quad \text{<Eq. 8>}$$

여기서, Q : 유량(m^3/s)

C : 유량계수[$=0.616(1-0.1\frac{h}{b})$]

b : 위어의 폭(m)
 g : 중력가속도(9.80 m/s^2)
 h : 월류수심(m)

HRS 공식은 <Eq. 9>와 같이 유량을 산정할 수 있다.

$$Q = 0.5621 + \frac{0.153h}{P} \cdot b \cdot \sqrt{g} \cdot (h + 0.001)^{\frac{3}{2}} \quad \text{<Eq. 9>}$$

여기서, Q : 유량(m^3/s)
 P : 최소입구높이(m)
 b : 위어의 폭(m)
 g : 중력가속도(9.80 m/s^2)
 h : 월류수심(m)

이상의 공식들은 측정 수두를 사용하고 총수두 보정은 <Table 5>와 같다.

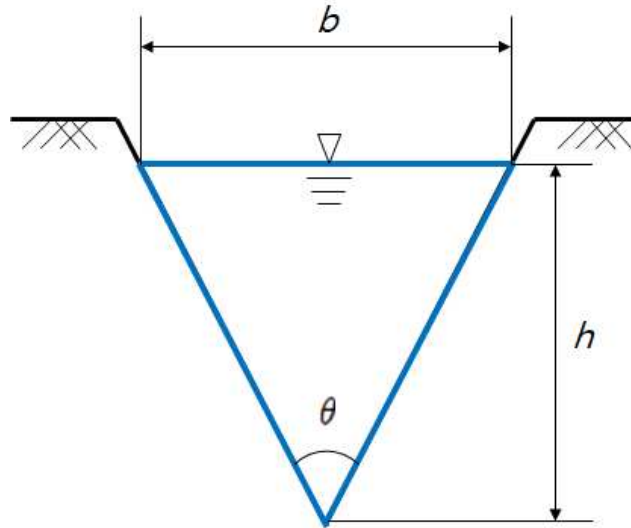
<Table 5> 직사각형 예연 위어 공식의 적용 한계

식	최소수두 $h(\text{m})$	최소폭 $b(\text{m})$	최소입구높이 $P(\text{m})$	최대 h/P 비율
Kinsvater and Carter	0.030	0.15	0.10	2.0
Rehbock	0.030	0.30	0.30	1.0
Hamilton-smith	0.075	0.30	0.30	
HRS	0.030	0.40	0.15	2.2

자세한 관련 계수 값은 ISO 1438-1, ISO 4360, KS B ISO 3847에 제시되어 있다.

2) 삼각형 예연 위어(Triangular sharp-crested weir)

삼각형 예연 위어는 <Fig. 13>과 같이 방류구가 이등변 삼각형을 역으로 한 형태이며, 적은 유량($0.03\text{ m}^3/\text{s}$ 이하)을 정확히 측정하는데 적절하다. <Eq. 10>을 이용해 유량을 산정할 수 있다. 여기서, 90° 각도의 입구에 대해 h 가 0.05 m 에서 0.381 m 로 변할 때, C 의 값은 0.0608 에서 0.5900 으로 변한다. 이러한 유량 계수는 90° 뿐만 아니라, 45° , 22.5° 일 때도 변하는데, 자세한 유량 계수의 값은 ISO 1438-1, ISO 4360에 제시되어 있다.



<Fig. 13> 삼각형 예연 위어

$$Q = \frac{8}{15} C \cdot \tan \frac{\theta}{2} \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{\frac{5}{2}} \quad \text{<Eq. 10>}$$

여기서, Q : 유량(m^3/s)

C : 유량계수

θ : 중심각

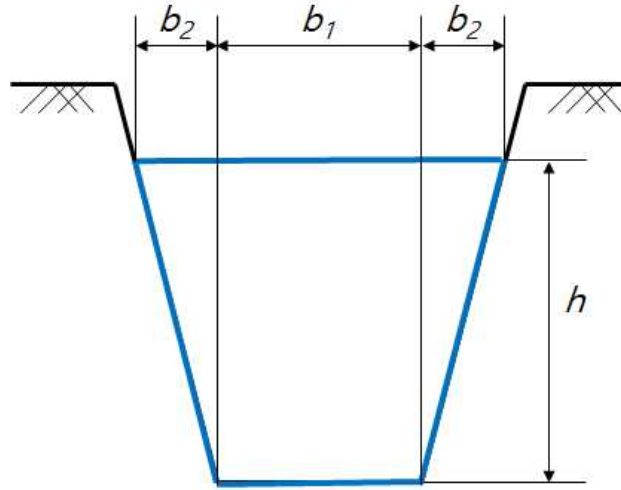
g : 중력가속도($9.80 m/s^2$)

h : 월류수심(m)

자세한 관련 계수 값은 ISO 4360에 제시되어 있다.

3) 사다리꼴 예연 위어(Trapezoid sharp-crested weir)

사다리꼴 예연 위어는 <Fig. 14>와 같이 방류구가 사다리꼴을 한 형태이며, <Eq. 11>을 이용해 유량을 산정할 수 있다.



<Fig. 14> 사다리꼴 예연 위어

$$Q = \frac{2}{15} C \cdot \sqrt{2g} \cdot (5b_1 + 4b_2) h^{\frac{3}{2}} \quad \text{<Eq. 11>}$$

여기서, Q : 유량 (m^3/s)

C : 유량계수

b_1 : 윗변과 아랫변 중 작은변

b_2 : 윗변과 아랫변 차의 절반

g : 중력가속도($9.80m/s^2$)

h : 월류수심(m)

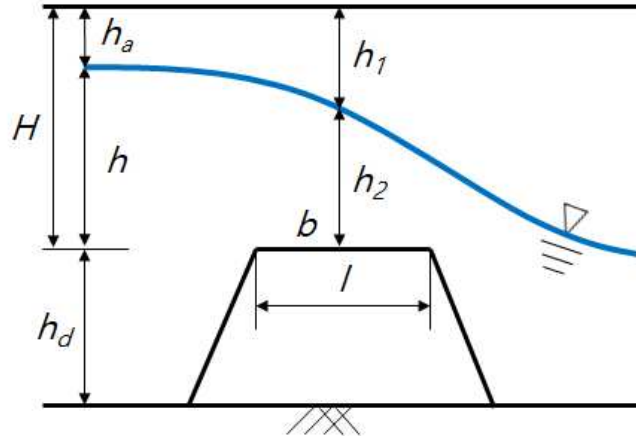
자세한 관련 계수 값은 ISO 4362에 제시되어 있다.

3.2.1.2 광정 위어(Broad-crested weir)

광정 위어는 하천에 설치된 일반적인 보 구조물로서 <Fig. 15>와 같이 정상부가 넓어 위어 상에서 한계 수심이 발생하도록 함으로써 유량을 측정하는 위어이다. 앞선 방류구 형태에 따른 위어들은 수심의 적용이 월류수심이였으나, 광정위어의 수심은 월류수심과 접근유속수두를 모두 고려한다. 광정 위어는 <Eq. 12>, <Eq. 13>을 이용해 유량을 산정할 수 있다.

광정 위어는 위어의 단면이 일반적으로 사다리꼴로 만들어져 있다. 광정 위어의 폭의 형태에 따라 둥근모서리형, 직사각형, 삼각형 등으로 구분된다. 광정 위어 역시 유량을 산정하기 위해 필요한 변수는 위어의 방류구 수위 h 이다. 수위계만으로 유

량 산정이 가능하여 경제성 면에서 탁월하고, 하상이 변하지 않아 지배 단면이 항상 일정해 산정된 유량의 변동성이 매우 적을 수 있다. 다만, 수위가 높아져 위어가 잠기게 되면 유량 산정식의 기능을 상실하게 되어 저수시에 활용할 수 있다. 가스식, 레이더식, 부자식, 압력식, 전자파식, 초음파식 등 다양한 수위계의 적용이 가능하나, 위어의 방류구 크기 및 현장 상황에 따라 적용할 수 있는 수위계에 제약이 있을 수 있다.



<Fig. 15> 광정 위어

광정 위어의 일반적인 공식은 앞서 소개한 예언 위어와 유사한데, <Eq. 12>, <Eq. 12>와 같다.

$$Q = C_D \cdot \sqrt{g} \cdot b \cdot H^{\frac{3}{2}} \quad \text{<Eq. 12>}$$

여기서, Q : 유량(m^3/s)

C_D : 유량계수

g : 중력가속도($9.80 m/s^2$)

H : 총수두(m)

$$Q = C_V \cdot C_D \cdot (2/3)^{3/2} \cdot \sqrt{g} \cdot b \cdot h^{\frac{3}{2}} \quad \text{<Eq. 13>}$$

여기서, Q : 유량(m^3/s)

C_V : 유량계수(Table 7 참조)

C_D : 유량계수

g : 중력가속도(9.80 m/s^2)

h : 월류수심(m)

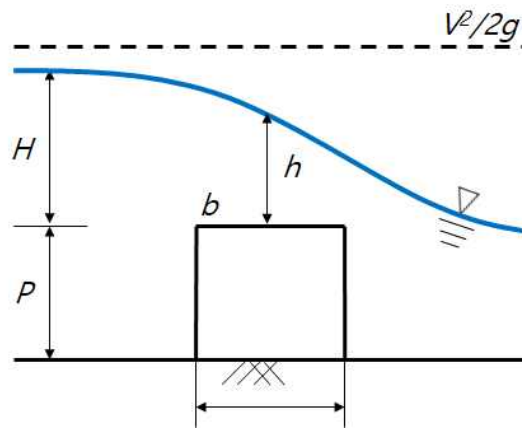
C_V 의 값은 <Table 6>과 같다.

<Table 6> $C_D b h / A$ 에 대한 C_V 의 값

$C_D b h / A$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
C_V	1.003	1.010	1.020	1.039	1.057	1.098	1.146	1.217

1) 직사각형 광정 위어(Rectangular broad-crested weir)

직사각형 광정 위어는 <Fig. 16>과 같은 형태이다. $0.08 \leq h/L \leq 0.33$ 이고, $0.18 \leq h/(h+P) \leq 0.36$ 이면, $C_D=0.848$ 이다. 그 외 조건은 <Table 7>과 같이 유량계수 $C_D(=0.848)$ 에 보정값 F 를 곱하여 유량계수를 결정하여 유량을 산정할 수 있다.



<Fig. 16> 직사각형 광정 위어

<Table 7> 정방형 단면 위어에서의 유량 보정값 F

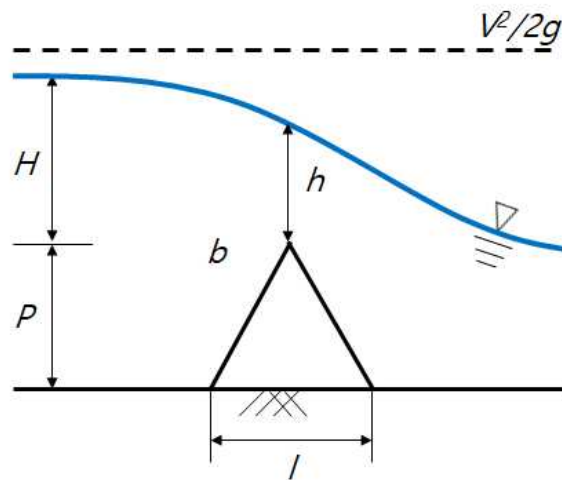
h/L	h/(h+P)			
	0.600	0.500	0.400	0.350
0.35	1.509	1.032	1.011	1.001
0.40	1.602	1.035	1.014	1.002
0.45	1.066	1.040	1.018	1.007
0.50	1.074	1.047	1.025	1.014
0.60	1.094	1.068	1.044	1.034
0.70	1.120	1.092	1.070	1.058
0.80	1.144	1.115	1.093	1.080
0.95	1.152	1.123	1.101	1.089

자세한 관련 계수 값은 ISO 8333에 제시되어 있다.

2) 삼각형 광정 위어(Triangular broad-crested weir)

삼각형 광정 위어는 <Fig. 17>과 같은 형태이다. $h \geq 0.06$ m인 경우, $C_D=0.633$ 을

사용하고, $h < 0.06$ m인 경우, $C_D = 0.633(1 - 0.0003H)^{\frac{3}{2}}$ 를 사용한다.



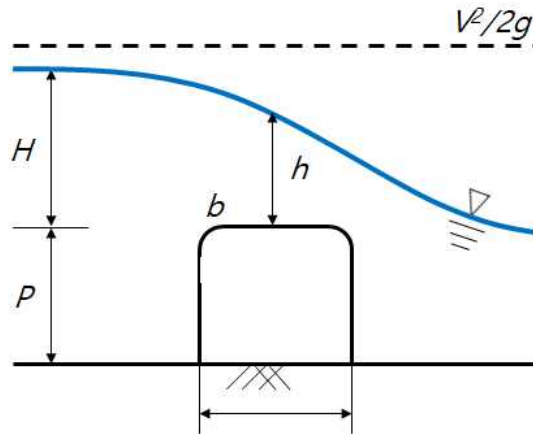
<Fig. 17> 삼각형 광정 위어

자세한 관련 계수 값은 ISO 9827에 제시되어 있다.

3) 둥근모서리형 광정 위어(Rounded rectangular broad-crested weir)

둥근모서리형 광정 위어는 <Fig. 18>과 같은 형태이다. 유량계수

$C_D = (1 - \frac{0.01L}{b})(1 - \frac{0.005L}{h})^{\frac{3}{2}}$ 를 이용해 유량을 산정할 수 있다.



<Fig. 18> 둥근모서리형 광정 위어

자세한 관련 계수 값은 KS B ISO 4374에 제시되어 있다.

4) 삼각형 단면 V자형 광정 위어(Triangular-V form broad-crested weir)

삼각형 단면 V자형 광정 위어는 <Fig. 19>와 같은 형태이다. H 가 V자 입구 사이에 있을 때는 <Eq. 14>를 이용해 유량을 산정한다.

$$Q = \frac{4}{5} \cdot C_D \sqrt{g} \cdot n \cdot H^{\frac{5}{2}} \quad \text{<Eq. 14>}$$

여기서, Q : 유량(m^3/s)

C_D : 유량계수

g : 중력가속도($9.80m/s^2$)

n : 입구부의 횡단 경사(1:n)

H : 총수두(m)

H 가 V자 입구보다 높게 있을 때는 <Eq. 15>와 같다.

$$Q = \frac{4}{5} \cdot C_D \sqrt{g} \cdot n \cdot H^{\frac{5}{2}} \cdot \left(1 - \left(1 - \frac{H'}{H}\right)^{\frac{5}{2}}\right) \quad \text{<Eq. 15>}$$

여기서, Q : 유량(m^3/s)

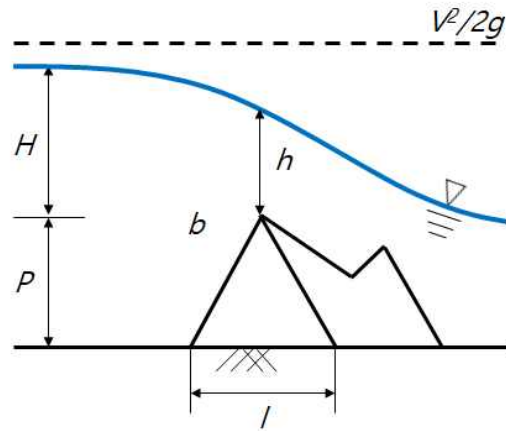
C_D : 유량계수(1:2/1:5에 대한 위어)

g : 중력가속도($9.80m/s^2$)

n : 입구부의 횡단 경사(1: n)

H : 총수두(m)

H' : 입구의 최상, 최하부의 높이차(m)

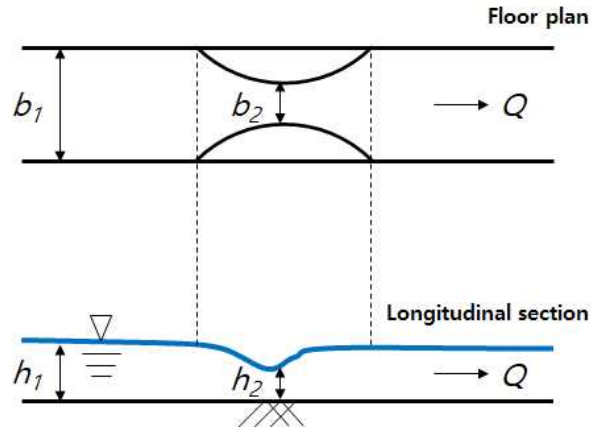


<Fig. 19> 삼각형 단면 V자형 광정 위어

자세한 관련 계수 값은 KS B ISO 4377에 제시되어 있다.

3.2.1.3 플룸(Flume)

플룸은 <Fig. 20>과 같이 개수로에서 특정구간의 단면적을 작게 만들면 유속이 빨라지는 동시에 수위가 내려가는 현상을 이용한 유량측정 구조물이다. 플룸은 벤츄리 플룸과 파살 플룸으로 구분된다. 벤츄리 플룸은 단경사의 사각형 단면 수로의 협착부에 설치하여 수위로 유량을 산정하고, 파살 플룸은 벤츄리 플룸을 개량한 것으로 저면의 형상을 변화시켜 협착부에서 한계수심을 발생시키도록 만든 구조물이다. 플룸 전후의 수위차를 Bernoulli의 정리에 적용하여 <Eq. 16>과 같이 유량을 산정할 수 있다.



<Fig. 20> 플룸

$$Q = C \cdot \sqrt{\frac{2g \cdot (h_1 - h_2)}{\left(\frac{1}{b_2 \cdot h_2}\right)^2 - \left(\frac{1}{b_1 \cdot h_1}\right)^2}} \quad \text{<Eq. 16>}$$

여기서, Q : 유량 (m^3/s)

C : 유량계수

b_1 : 수로의 폭(m)

b_2 : 플룸의 폭(m)

h_1 : 수로의 수심(m)

h_2 : 플룸의 수심(m)

g : 중력가속도 ($9.80 m/s^2$)

1) 직사각형 플룸(Rectangular flume)

단면의 형태가 직사각형인 플룸으로 앞서 소개한 광정 위어의 이론식 <Eq. 13>과 같은 식으로 유량을 산정할 수 있다. 다만, 공식에 포함되는 유량계수 등의 변수는 ISO 4359, ISO 1983에서 제시하는 값을 사용하도록 한다.

2) 사다리꼴 플룸(Trapezoid flume)

단면의 형태가 사다리꼴인 플룸으로 <Eq. 17>과 같은 식으로 유량을 산정할 수 있다. 다만, 공식에 포함되는 유량계수 등의 변수는 ISO 4359, ISO 1983에서 제시하는 값을 사용하도록 한다.

$$Q = C_V \cdot C_D \cdot C_S \cdot (2/3)^{3/2} \cdot \sqrt{g} \cdot b \cdot h^{\frac{3}{2}} \quad \text{<Eq. 17>}$$

여기서, Q : 유량(m^3/s)

C_V : 유량계수(Table 7 참조)

C_D : 유량계수

C_S : 형상계수

g : 중력가속도($9.80 m/s^2$)

b : 수로의 폭(m)

h : 월류수심(m)

3) U자형 플룸(U form flume)

단면의 형태가 U자형인 플룸으로 <Eq. 18>과 같은 식으로 유량을 산정할 수 있다. 다만, 공식에 포함되는 유량계수 등의 변수는 ISO 4359, ISO 1983에서 제시하는 값을 사용하도록 한다.

$$Q = C_V \cdot C_D \cdot C_U \cdot (2/3)^{3/2} \cdot \sqrt{g} \cdot D \cdot h^{\frac{3}{2}} \quad \text{<Eq. 18>}$$

여기서, Q : 유량(m^3/s)

C_V : 유량계수(Table 7 참조)

C_D : 유량계수

C_U : 형상계수

g : 중력가속도($9.80 m/s^2$)

D : U자형 플룸의 하부 지름(m)

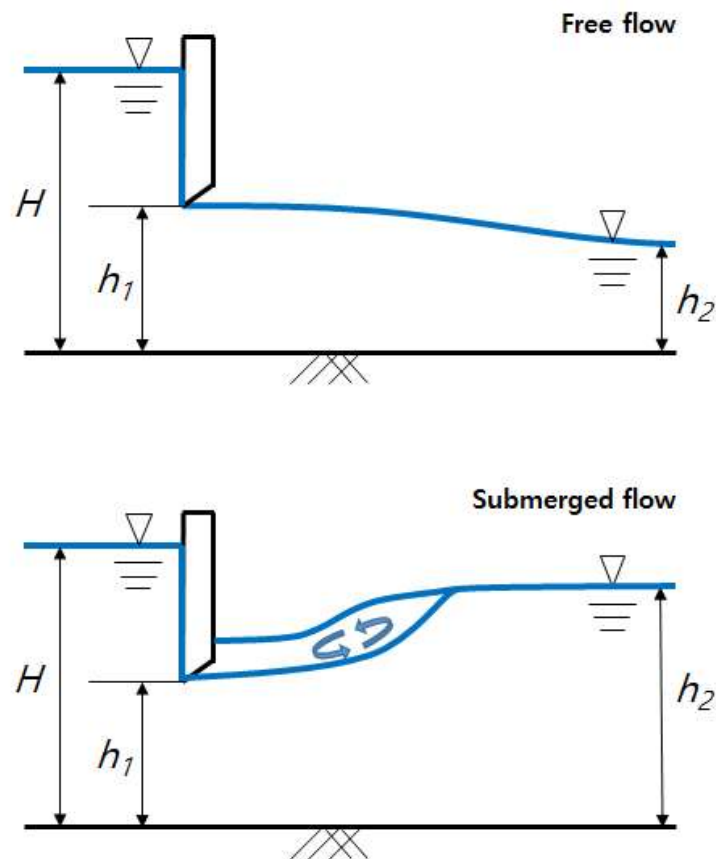
h : 월류수심(m)

4) 파살 플룸(Rectangular flume)

앞서 소개한 플룸들은 좁아지는 협착부가 오르막 경사에서 내리막 경사로 구성되어 있다면, 파살 플룸은 아래로 처진 경사 마루를 가진 좁은 통로에서 오르막 경사를 가진 마루 부분으로 구성되어 있다. 파살 플룸의 실험을 통해 개발된 실험식들은 KS B ISO 9826, ISO 1996에서를 참고하도록 한다.

3.2.1.4 수문(Sluice gate)

수문은 여러 가지 형식이 있으나, 슬루스 게이트(Sluice gate)로 수문의 개폐를 통해 취수하는 경우가 일반적이다. 슬루스 게이트는 상하로 개폐할 수 있는 사각형 수문으로 방류구 외측의 잠김 유무에 따라 <Fig. 21>과 같이 자유흐름(Free flow)과 수중흐름(Submerged flow)으로 구분된다. 자유흐름은 <Eq. 19>, 잠김흐름은 <Eq. 20>을 이용하여 유량을 산정할 수 있다.



<Fig. 21> 수문

$$Q = C \cdot b \cdot h_1 \cdot \sqrt{2g(H - h_1)} \quad \text{<Eq. 19>}$$

여기서, Q : 유량 (m^3/s)

C : 유량계수 [=0.62~0.66]

b : 위어의 폭(m)

h_1 : 수문의 높이(m)

H : 수문 상류의 수위(m)

h_2 : 수문 하류의 수위(m)

$$Q = C \cdot b \cdot h_1 \cdot \sqrt{2g(H - h_2)} \quad \langle \text{Eq. 20} \rangle$$

여기서, Q : 유량 (m^3/s)

C : 유량계수 [=0.60]

b : 위어의 폭(m)

h_1 : 수문의 높이(m)

H : 수문 상류의 수위(m)

h_2 : 수문 하류의 수위(m)

자세한 관련 계수 값은 KS B ISO 13550에 제시되어 있다.

3.2.2 수위-유량관계법(H-Q rating curve)

수위-유량관계법은 기계식 측정기기(회전식, 전자파식, 초음파식 등)로 단면의 평균 유속을 측정하여 점단위 유량을 산정할 수 있고, 수차례 측정을 통해 수위-유량의 관계를 결정하여 수위에 해당하는 유량을 연속적으로 산정할 수 있다. 하상이 안정적인 지점에서는 <Eq. 21>과 같이 수위에 의한 단일한 함수를 통해 <Fig. 22>와 같이 수위-유량관계곡선식(H-Q rating curve)을 개발하여 유량자료를 산정할 수 있다.

$$Q = a \cdot (h - e)^c \quad \text{<Eq. 21>}$$

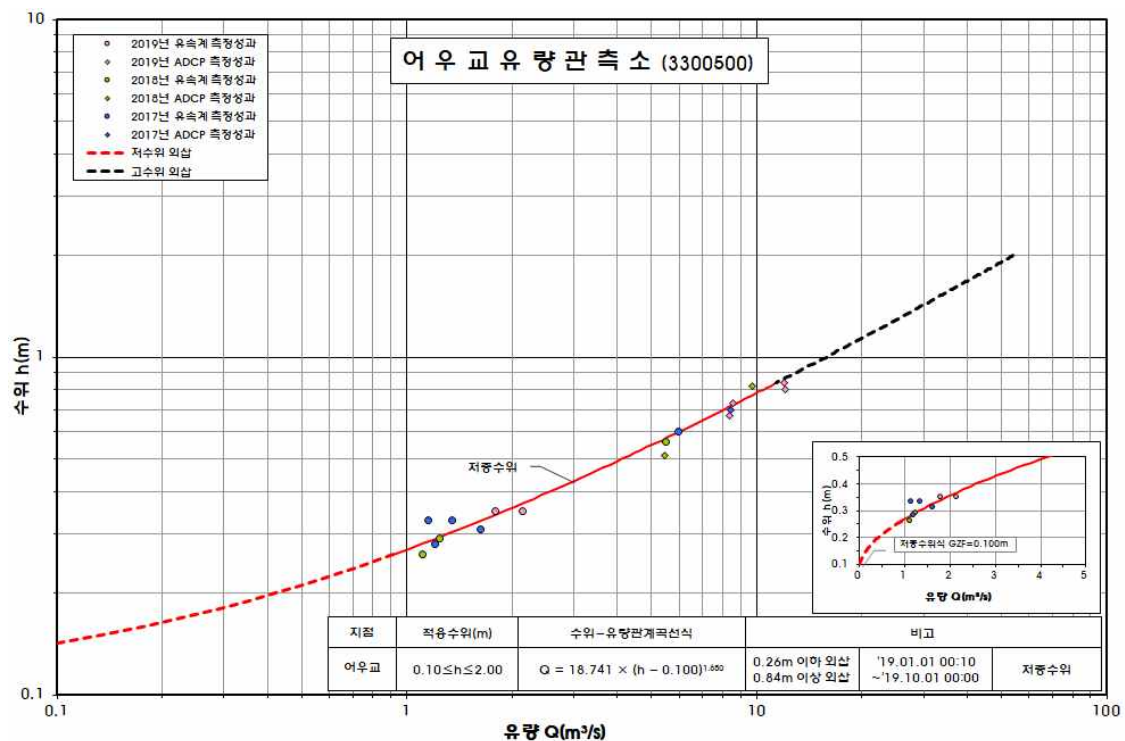
여기서, Q : 유량 (m^3/s)

a : 회귀상수

c : 회귀상수

e : 하천의 흐름이 0인 수위(Gauge height of zero flow, GZF)

h : 수위



<Fig. 22> 수위-유량관계법 예시

수위-유량관계곡선식을 개발하기 위해서는 분석기간 동안 수위별로 잘 분포되어 있는 최소 12 ~ 15개의 측정치가 있어야 하는 것으로 ISO 1100-2, ISO 1998 등에

서 제시하고 있다. 본 지침에서는 단면이 일정한 개수로에서의 수위-유량관계곡선식을 개발하는 것이기 때문에, 보다 적은 횟수의 측정치로도 개수로의 수위별 유량을 산정할 수 있을 것으로 판단한다.

1) 적용조건

- ① 개수로 측정 단면에 구조물 또는 식생 등의 방해 요인이 없는 곳으로 한다.
- ② 측정 위치 상류에 교각 등 흐름을 왜곡하는 구조물이 없는 곳에서 측정한다.
- ③ 기준 수위판을 설치하여 수위별 유량측정시 사용하도록 한다.
- ④ 토출부, 만곡부 등을 피하고 흐름이 안정된 곳에서 측정한다.

2) 장점 및 단점

- ① 높은 정확도의 자료를 확보할 수 있으나, 선형보간을 통해 수위별 유량을 산정하기 때문에, 중요도 높은 취수 시설물에서는 연속적인 계측이 가능한 방법을 사용하는 것이 효과적이다.
- ② 타 계측방법의 검증을 위해서는 수위별 유량관계 계측이 필수적이다.
- ③ 인력에 의해 측정되기 때문에, 비연속적이고 노동력의 소모가 크다.
- ④ 단면이 변하지 않는 개수로의 특성상 한번의 수위-유량관계곡선식 개발과 수위의 측정만으로 유량자료를 계측할 수 있어 추가적인 노동력을 절감할 수 있다.

3) 적용사례

하천수 취수량이 큰 주요 농업용수 사용지점에서는 개수로의 수위별 유량 환산표를 <Table 8>과 같이 작성하여 취수량을 산정하고 있다.

<Table 8> 개수로 수위-유량관계 환산표 예시

농업용 개수로	수위(cm)																			
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	
○○간선 (m³/s)	-	1.5	2.8	4.3	6.0	7.6	8.7	9.6	10.4	12.4	14.3	16.2	17.2	19.0	20.7	22.4	24.2	25.5	27.0	
○○간선 (m³/s)	0.5	1.0	-	1.5	-	2.0	2.8	-	3.5	4.0	1.5	5.0	5.5	-	-	-	-	-	-	
○○도수로 (m³/s)	-	-	-	-	-	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	-	

3.2.3 전자파법(Microwave method)

전자파법은 전자파 표면유속계(Microwave water surface current meter, MWSCM)를 이용해 측정한 국소적인 영역의 표면유속으로 단면의 평균유량을 산정하는 방법이다. 농업용 개수로와 같이 일정한 기간동안 균일한 유량이 취수될 때, 연직단면의 유속분포는 일정하기 때문에 측정한 표면유속과 단면의 평균유속간에 일정한 관계를 생성할 수 있다. 이동식 장비를 이용하여 점단위 현장측정이 가능하고, 계측기기를 현장에 설치하여 연속적인 유속자료 확보도 가능하다.

전자파법은 비접촉식 계측방법으로 수로 외부에서 수표면에 전자파를 송·수신하여 표면유속을 계측할 수 있어 인력의 소모가 덜하고 장비의 손망실 가능성이 적어 유지관리에 효과적이다.

전자파법은 도플러 효과를 이용하기 때문에, 일정수준 이상의 유속이 있을 경우에만 정확도 높은 계측이 가능하고, 적은 유량을 취수하는 개수로에서는 바람의 영향 등에 의해 표면의 흐름이 산란될 수 있기 때문에 적절한 계측방법이 아닐 수 있다. 전자파법은 <Fig. 23>과 같이 파동을 발생시키는 파원과 운동하는 물체 사이에 상대적으로 발생하는 주파수 차이로 유속을 산정할 수 있는 <Eq. 22>와 같이 도플러 효과를 이용한다.

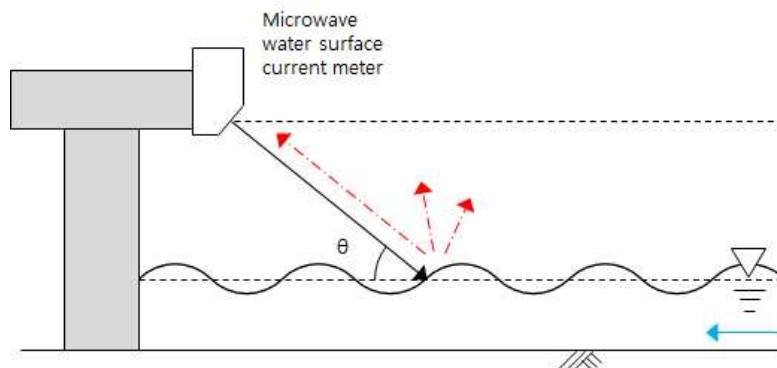
$$f_d = \frac{2v}{\lambda} \cos\theta \quad \text{<Eq. 22>}$$

여기서, f_d : 도플러 주파수

v : 물체의 속도(m/s)

λ : 전파의 파장

θ : 물체 속도방향과 파장 진행방향의 사잇각



<Fig. 23> 전자파 표면유속계 계측원리(Baek, 2020)

전자파 표면유속계는 고정 주파수의 전자파를 수면에 송신하고, 산란물체에 반사되어 되돌아오는 수신 주파수의 차이로 생기는 도플러 변이(Doppler shift) 효과를 이용하여 유속을 측정하는데 <Eq. 23>과 같다.

$$f_{shift} = -2 \cdot f_M \cdot \left(\frac{u_R}{c} \right) \quad \text{<Eq. 23>}$$

여기서, f_{shift} : 변이된 주파수

f_M : 송신된 전자파의 주파수

u_R : 상대속도(m/s)

c : 음속(m/s)

1) 적용조건

- ① 전자파가 송수신되는 영역에 구조물 또는 식생 등의 방해 요인이 없어야 한다.
- ② 개수로의 단면이 일정하여 계측 영역과 단면 전체 영역간의 유속관계가 일정해야 한다.
- ③ 토출부, 만곡부 등 단면의 유속분포가 불일정한 지점은 지양하고, 단면의 유속 분포가 일정한 지점에 초음파 유속계를 설치해야 한다.
- ④ 전자파 유속계 설치위치의 상류에 교량 등 흐름을 왜곡하는 구조물이 없어야 한다.
- ⑤ 제어반 설치 장소는 센서에서 가능한 가까운 지점으로 하되, 고수위시 수몰되지 않는 유지관리가 용이한 지점으로 한다.

2) 장점 및 단점

- ① 높은 정확도의 자료를 연속적으로 측정할 수 있어, 중요도 높은 취수 시설물에 적용하여 실시간 취수량 계측에 용이하다.
- ② 계측장비의 단가가 높고, 제어반 설치 등 초기 투입 비용이 크다.
- ③ 수중에 들어가지 않고, 교량 등에 비접촉식으로 설치하기 때문에, 홍수기 등의 상황에서 기기의 손상될 가능성이 적다.
- ④ 교량의 상류측에서 측정하기 때문에, 교각 등에 의한 영향이 적다.
- ⑤ 한번의 설치 및 검증으로 연속적인 자료를 계측할 수 있어 추가적인 노동력을 절감할 수 있고, 유지관리가 용이하다.
- ⑥ 소규모 취수지점의 경우, 수심이 얇고 저유속에서는 자료의 정확도가 낮을 수 있다.

전자파법은 환산계수법, 지표유속법, 유속분포법을 이용해 수로 단면의 평균유량을 산정할 수 있다.

3.2.3.1 환산계수법(Scale factor method)

전자파 표면유속계는 수로의 국소적인 수면 영역만 측정하기 때문에, 측정한 유속으로 산정한 유량이 평균유량을 대변할 수 없다. 이에 지점별로 현장 유량측정을 통한 실측값과의 비교를 통해 전자파 표면유속계로 산정한 유량에 일정 상수를 곱해주는 방법이다. 선행 연구에서 다양한 상수값을 제시하고 있으나, 고유속시 0.85 정도의 상수값을 사용하고 있다. 환산계수법은 <Eq. 24>를 이용하여 유량을 산정할 수 있다.

$$\bar{Q} = a \cdot Q_{MWSCM} \quad \text{<Eq. 24>}$$

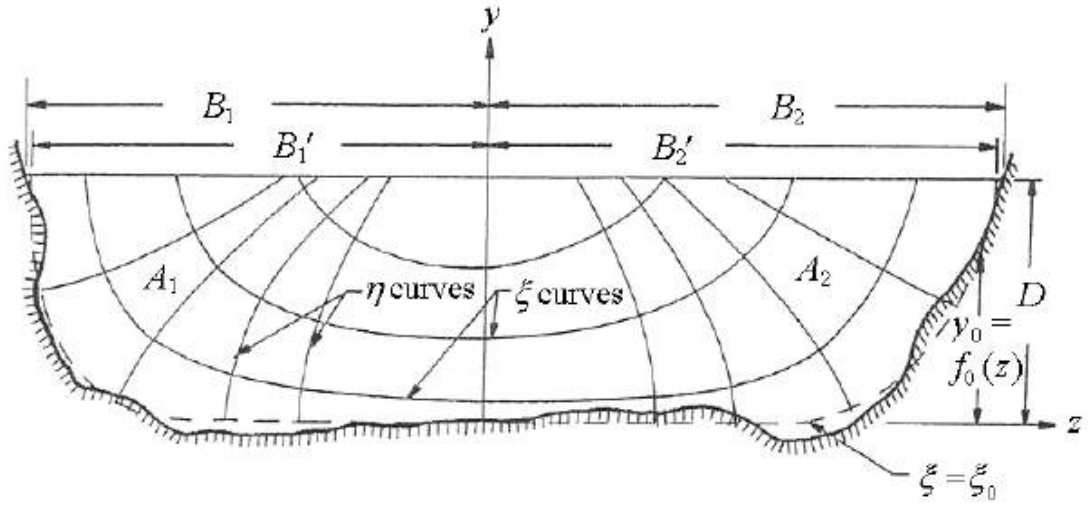
여기서, $\bar{Q}$: 평균유량(m^3/s)

a : 상수[=0.85]

Q_{MWSCM} : 전자파 표면유속계로 산정한 유량(m^3/s)

3.2.3.2 유속분포법(Velocity distribution method)

유속분포법은 전자파 표면유속계로 측정한 지표유속을 단면 전체 유속분포와의 관계를 이용하여 유량을 산정하는 방법이다. 유속분포법은 일반적으로 Chiu가 제안한 엔트로피 기반의 확률론적인 유속분포식을 사용한다. 무차원 유속분포와 지표유속의 관계를 설명하기 위해 추정 최대유속을 산정하고, 추정된 최대유속을 다시 무차원 유속분포에 대입하여 단면 유속분포를 추정한다. 따라서, 추정된 단면 전체 유속분포를 면적 적분하여 유량을 산정한다. Chiu의 유속분포식은 단면상의 동일한 유속을 가지는 점들을 연결한 등유속선(isovel) ξ 과 직교선 η 으로 구성되는 $\xi-\eta$ 좌표계를 이용하는데, <Fig. 24>와 같다.



<Fig. 24> 개수로 단면에서의 $\xi-\eta$ 좌표계 (Chiu and Murray, 1992)

$\xi-\eta$ 좌표계는 원통좌표계와 유사한데, 등유속선으로 표현되는 단면 위치와 유속 간의 일대일 관계가 성립한다. 하폭 방향과 수심 방향의 성분으로 이루어진 직교좌표계는 <Eq. 25>에 의해 $\xi-\eta$ 좌표계로 변환할 수 있다.

$$\xi = Y \cdot (1 - Z)^{\beta_i} \exp(\beta_i \cdot Z - Y + 1) \quad \text{<Eq. 25>}$$

여기서, ξ : 등유속선

$$Y : \left[= \frac{y + \delta_y}{D + \delta_y + h} \right]$$

$$Z : \left[= \frac{|z|}{B_i + \delta_i} \right]$$

y : 직교좌표에서 하상으로부터의 연직방향 거리

D : 연직방향으로 최대유속이 발생하는 위치의 수심

h : 최대유속 발생위치의 수면으로부터의 거리

z : 최대유속축에서 하안 방향 거리

B_i : 최대유속축으로부터 하안까지의 수면폭

β_i : 등유속선의 형상 매개변수로 등유속의 경사와 관련

δ_i : 등유속선의 형상 조정 변수

δ_y : 등유속선의 형상 조정 변수

산정한 등유속선을 이용하여 <Eq. 26>과 같이 유속과 관련된 함수로 나타낼 수 있

다.

$$u^+ = \frac{u}{u_{\max}} = \frac{1}{M} \ln \left[1 + (e^M - 1) \frac{\xi - \xi_{\min}}{\xi_{\max} - \xi_{\min}} \right] \quad \langle \text{Eq. 26} \rangle$$

여기서, u^+ : 무차원 유속

u : 유속(m/s)

$u_{\max}$: 최대유속(m/s)

M : 유속분포의 동질성을 나타내는 엔트로피 매개변수

ξ : 임의의 지점에서 등유속선 값

$\xi_{\max}$: 등유속선의 최대값

$\xi_{\min}$: 등유속선의 최소값

격자별 무차원 유속이 추정되면, 초음파 유속계에 의해 측정된 지표유속을 격자별로 배치하여 <Eq. 18>과 같이 무차원 유속과 지표유속의 관계를 추정한다. <Eq. 27>에서 제시한 식을 이항하면, 격자별 지표유속과 무차원 유속의 비는 추정 최대 유속($\hat{u}_{\max}$)이 되고, 격자별 평균값을 대표 관계로 채택한다.

$$\hat{u}_{\max} = \frac{u_{i(j,k)}}{u_{j,k}^+} \quad \langle \text{Eq. 27} \rangle$$

여기서, $u_{i(j,k)}$: 지표유속 측정영역에 해당하는 격자의 측정유속(m/s)

$u_{j,k}^+$: 지표유속 측정영역에 해당하는 격자별 무차원 유속

격자기반 무차원 유속분포는 추정 최대유속을 식 <Eq. 28>과 같이 격자별 무차원 유속분포에 곱하면 단면 전체의 유속분포를 산정할 수 있다. 격자별로 산정된 유속을 <Eq. 29>와 같이 적분하여 단면 전체의 유량을 산정할 수 있다.

$$\hat{u}_{j,k} = \hat{u}_{\max} \times u_{j,k}^+ \quad \langle \text{Eq. 28} \rangle$$

여기서, $\hat{u}_{j,k}$: 격자별 평균유속(m/s)

$\hat{u}_{\max}$: 격자별 최대유속(m/s)

$u_{j,k}^+$: 지표유속 측정영역에 해당하는 격자별 무차원 유속

$$\hat{Q} = \iint_A \hat{u} dA = \sum_j \sum_k \hat{u}_{j,k} \Delta y \Delta z \quad \langle \text{Eq. 29} \rangle$$

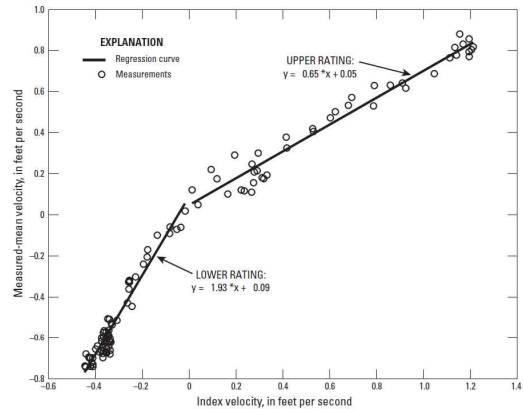
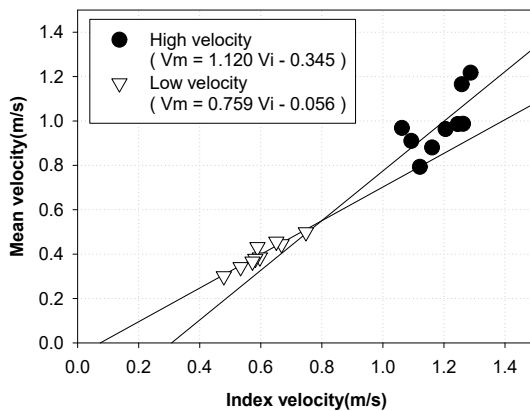
여기서, Δy : 격자의 연직방향 길이

Δz : 격자의 횡단방향 길이

$\hat{Q}$: 유속분포법에 의해 추정된 유량이다.

3.2.3.3 지표유속법(Index velocity method)

지표유속법은 <Fig. 25>, <Fig. 26>과 같이 전자과 표면유속계로 측정한 지표유속과 단면 평균유속간의 선형관계를 이용해 평균유량을 산정하는 방법이다. 다만, 수위 변동폭이 크거나 횡단면의 형상이 급변하는 지점에서는 지표유속과 평균유속의 관계를 정의하기 어려울 수 있다.



<Fig. 25> 지표유속법 예시(Baek et al., 2020) <Fig. 26> 지표유속법 예시(Ruhl and Simpson, 2005)

측정한 유속을 통해 <Eq. 30>과 같이 표현할 수 있다. 선형관계식을 이용하여 지표유속으로 산정한 유량을 통해 단면의 평균유량을 산정할 수 있다.

$$\bar{Q} = s \cdot Q_i + c \quad \langle \text{Eq. 30} \rangle$$

여기서, $\bar{Q}$: 평균유량(m^3/s)

s : 곡선식의 기울기

Q_i : 지표유속으로 산정한 유량(m^3/s)

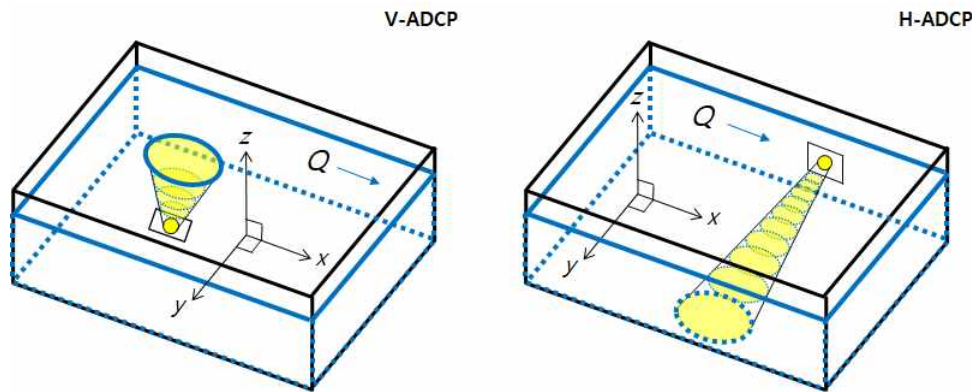
c : y축의 절편(상수)

3.2.4 초음파법

초음파법은 수중에 초음파 유속계를 설치하여 측정한 국소적인 영역의 유속자료를 통해 단면의 평균유량을 산정하는 방법이다. 측정영역은 일정간격의 셀단위로 구분되어 셀별 유속을 확인할 수 있어 단면의 유속을 정밀하게 측정할 수 있으나, 수중으로 진행하는 음파의 측정 거리에 제약이 있고, 음파를 산란할 수 있는 장애물 등에 의해 측정에 한계를 가진다. 농업용 개수로와 같이 하상이 고르고 균일한 단면의 구조물일 경우 초음파법을 적용하여 정확도 높은 취수량 자료를 확보할 수 있다.

초음파법은 도플러 방식(Acoustic doppler velocity meter, ADVM)과 이동시간차 방식(Ultrasonic velocity meter, UVM)으로 구분되는데, 해당지점의 수로에 초음파 유속계를 설치하여 초음파의 송·수신 정보 변화를 통해 연속적인 유속 계측 및 유량을 산정할 수 있다.

도플러 방식은 <Fig. 27>과 같이 초음파 유속계 설치 위치에 따라 수로 하단에 설치하여 수면 방향으로 초음파를 송수신하는 연직방향 초음파 유속계(V-ADCP), 수로의 측면에 설치하여 반대편 측면으로 초음파를 송수신하는 횡방향 초음파 유속계(H-ADCP)로 구분되는데, <Eq. 31>을 이용해 유속을 산정하고 단면을 곱하여 유량을 산정할 수 있다.



<Fig. 27> 초음파법(도플러 방식)

$$f_{shift} = -2 \cdot f_A \left(\frac{u_R}{c} \right) \quad \text{<Eq. 31>}$$

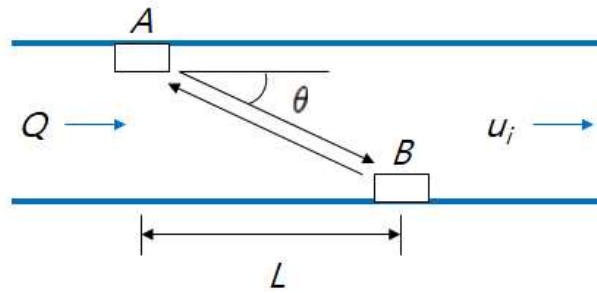
여기서, f_{shift} : 변이된 주파수

f_A : 송신된 초음파의 주파수

u_R : 상대속도(m/s)

c : 수중에서의 음속(m/s)

이동시간차 방식(UVM)은 <Fig. 28>과 같이 수로 양쪽에 흐름과 일정한 각을 유지하도록 2개의 센서를 설치하고, 흐름방향과 역방향으로 각각 초음파를 송수신하여 시간차를 측정한다. 송신된 초음파는 흐름 방향일 때가 역방향일 때보다 수신까지의 이동시간이 짧게 되고, 이 이동시간 차가 유속에 비례한다는 <Eq. 32>의 원리를 이용해 유량을 산정할 수 있다.



<Fig. 28> 초음파법(이동시간차 방식)

$$u_p = \frac{L}{2} \left[\frac{1}{t_{BA}} - \frac{1}{t_{AB}} \right] \quad \text{<Eq. 32>}$$

여기서, u_i : 유속(m^2/s) [$= \frac{u_p}{\cos\theta}$]

u_p : 초음파 측선상의 유속(m^2/s)

t_{BA} : B에서 A로 초음파가 이동하는 시간(s)

t_{AB} : A에서 B로 초음파가 이동하는 시간(s)

L : 센서 사이의 거리

1) 적용조건

- ① 초음파가 송수신되는 영역에 구조물 또는 식생 등의 방해 요인이 없어야 한다.
- ② 개수로의 단면이 일정하여 계측 영역과 단면 전체 영역간의 유속관계가 일정해야 한다.
- ③ 토출부, 만곡부 등 단면의 유속분포가 불일정한 지점은 지양하고, 단면의 유속 분포가 일정한 지점에 초음파 유속계를 설치해야 한다.
- ④ 초음파 유속계 설치위치의 상류에 교량 등 흐름을 왜곡하는 구조물이 없어야 한다.
- ⑤ 제어반 설치 장소는 센서에서 가능한 가까운 지점으로 하되, 고수위시 수몰되

지 않는 유지관리가 용이한 지점으로 한다.

2) 장점 및 단점

- ① 높은 정확도의 자료를 연속적으로 측정할 수 있어, 중요도 높은 취수 시설물에 적용하여 실시간 취수량 계측에 용이하다.
- ② 계측장비의 단가가 높고, 제어반 설치 등 초기 투입 비용이 크다.
- ③ 설정한 셀 크기별로 유속을 측정할 수 있기 때문에, 연직이나 횡방향 흐름과 유속계의 측정방향에 따라 유속분포를 측정할 수 있다.
- ④ 수로 내부에 설치하여 기상 영향 받지 않는다.
- ⑤ 한번의 설치 및 검증으로 연속적인 자료를 계측할 수 있어 추가적인 노동력을 절감할 수 있고, 유지관리가 용이하다.

초음파법은 지표유속법, 유속분포법을 이용해 수로 단면의 평균유량을 산정할 수 있다.

3.2.4.1 유속분포법(Velocity distribution method)

초음파 유속계로 측정한 지표유속을 단면 전체 유속분포와의 관계를 이용하여 유량을 산정하는 방법이다. 전자파법의 유속분포법에서 기술한 내용과 동일하게 적용할 수 있다.

3.2.4.2 지표유속법(Index velocity method)

초음파 유속계로 측정한 지표유속과 단면 평균유속간의 선형관계를 이용해 평균유량을 산정하는 방법이다. <Eq. 30>을 이용하여 유량을 산정할 수 있다. 전자파법의 지표유속법에서 기술한 내용과 동일하게 적용할 수 있다.

3.3 유량 간접 계측방법

앞서 기술한 관수로와 개수로에서의 직접 계측방법 적용이 어려운 하천수 사용자는 간접적인 계측방법을 통해 취수량을 산정할 수 있다. 유량의 직접적인 계측에 의한 방법이 아닌 유량과 간접적으로 관련된 변수들과의 관계를 통해 산정하는 방법이기 에 비교적 신뢰도가 낮을 수 있으나, 선행연구들을 통해 정확도에 대한 검증이 수 행된 방법을 선정하여 소개하였다. 유량 간접 계측방법으로 전력량법, 가동시간법, 수요량 추정에 관한 각각의 장단점과 유의사항, 유량산정 방법 등을 후술하였다.

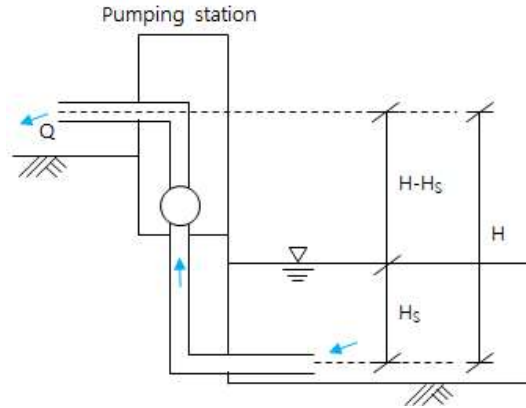
3.3.1 전력량법(Electric energy method)

전력량법은 양수시설 사용에 따른 전력사용량과 취수량간의 상관관계를 이용하는 방법이다. 전력사용량은 고압전력을 사용하는 지점에 한해 한국전력공사의 스마트 그리드 사업(i-Smart)을 통해 15분 단위 전력사용량 자료를 제공받을 수 있다. 고압 전력이란 자체변압기를 통해 500 kWh/month 이상의 전력을 사용하는 지점이다. 이외의 양수장에서 전력량법을 사용하기 위해서는 자체적으로 전력사용량을 측정할 수 있는 계측기기를 설치하여야 한다.

3.3.1.1 이론식

전력량법은 전력량 자료만으로 유량을 산정할 수 있어 취수량 계측을 위한 투입 비용이 매우 적다. 반면에, 선행연구들에 의하면 전력량법으로 월단위 취수량을 계측한 결과와 직접 계측방법을 통해 계측한 결과가 5% 내외의 편차로 높은 정확도를 보이고 있어 경제성을 고려한다면 효과적인 취수량 계측방법이다. 추가적으로 유입 부 쪽의 외수위를 고려하여 전력량법을 적용하면 보다 높은 정확도를 확보할 수 있다.

전력량법은 <Fig. 29>와 같이 양수장의 시설 제원과 하천의 수위에 따라 <Eq. 33>과 같이 하천수 취수량을 간접적으로 산정할 수 있다.



<Fig. 29> 전력량법

$$Q = \left(\frac{\eta_P \eta_g \eta_e}{K \gamma H (1+R)} \right) P \quad \text{<Eq. 33>}$$

여기서, Q : 펌프배출량(m^3/min)
 K : 단위환산에 따른 일정 상수
 H : 펌프 전양정(m)
 η_P : 펌프의 효율
 η_g : 기어 감속기의 전달효율
 η_e : 유체계수의 전달효율
 R : 원동기의 여유계수
 P : 전력사용량(kW)

유입부를 통해 취수되는 하천수는 토출부로 방류된다. 양수장에서 고려하는 양정고는 토출부에서 유입부까지의 높이 차로 정의한다. 하지만, 하천의 수위 변동에 따라 <Fig. 22>와 같이 흡입구 중앙에서 하천 수면까지의 높이 H_s 만큼 양수관에 물이 차있게 되므로, 일반적으로 사용하는 양정고 H 가 아닌, $H-H_s$ 를 고려하는 것이 실제 현상을 반영한 양정고이다. 이를 위해서는 외수위 측정이 필수적이다. 하천의 수위에 따라 <Eq. 34>와 같이 하천수 취수량을 간접적으로 산정할 수 있다.

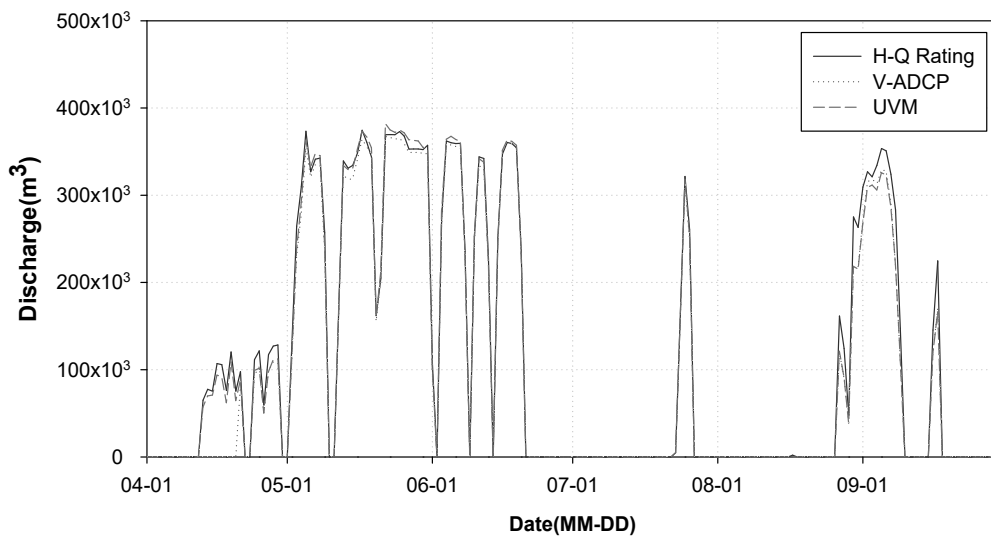
$$Q = \left(\frac{\eta_P \eta_g \eta_e}{K \gamma (H-H_s) (1+R)} \right) P \quad \text{<Eq. 34>}$$

여기서, Q : 펌프배출량(m^3/min)
 K : 단위환산에 따른 일정 상수

H : 펌프 전양정(m)
 H_s : 하천수면까지의 높이(m)
 η_P : 펌프의 효율
 η_g : 기어 감속기의 전달효율
 η_e : 유체계수의 전달효율
 R : 원동기의 여유계수
 P : 전력사용량(kW)

3.3.1.2 적용사례

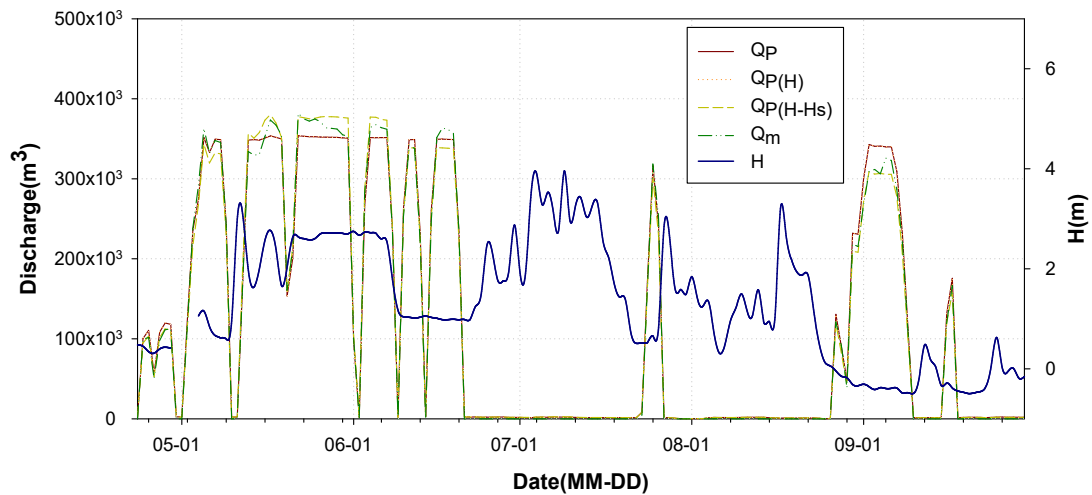
전력량법의 검증을 위해 남한강하류 유역(중권역 구분)에서 가장 많은 취수량을 허가하고 있는 능서1양수장을 대상으로 적용한 사례를 소개하였다. 능서1양수장은 800 mm 관경의 600 HP 원심펌프 4대를 통해 일최대 419,880 m³/일 내에서 양수하고 있다. 기준유량의 선정을 위해 토출부의 개수로에 앞서 소개한 초음파법(V-ADCP, UVM)과 수위-유량관계곡선식(H-Q rating curve)을 적용하여 계측된 취수량을 <Fig. 30>과 같이 비교하였다. 3가지 계측방법 모두 근사한 유량을 산정하였으나, H-Q Rating curve는 상대적으로 오차범위가 넓었고, V-ADCP 자료는 일부 결측 구간이 있어, UVM 자료를 기준유량으로 선정하였다.



<Fig. 30> 기준유량 선정을 위한 직접 계측방법별 비교(Baek et al., 2019)

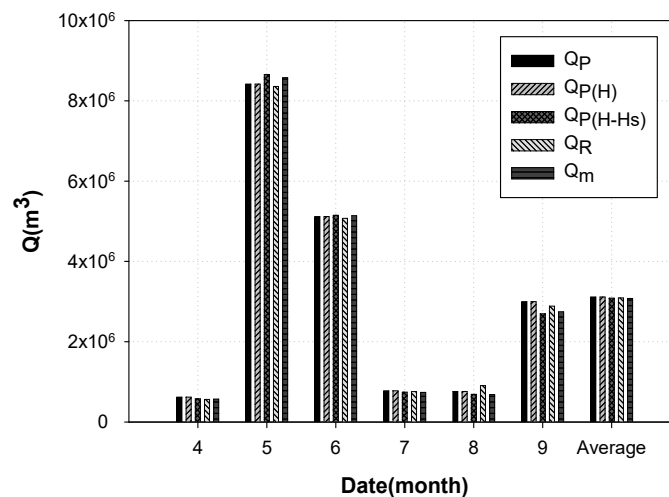
UVM으로 산정한 유량을 Q_m 으로 설정하고, 하천 외수위 H , 전력량법 이론식으로 산정한 유량을 Q_P , 양정고를 고려한 전력량법으로 산정한 유량을 $Q_{P(H)}$, 양정고와

하천 외수위 모두를 고려하여 전력량법으로 산정한 유량을 $Q_{P(H-H_s)}$ 로 구분하여 <Fig. 31>과 같이 산정한 유량자료를 비교하였다. 백분율 차이(Percent difference)로 비교하였을 때, 3가지 경우 모두 기준유량 대비 약 5% 내외의 오차를 보이는 것으로 나타났고, 미소한 차이이긴 하지만, 양정고와 하천 외수위 등 추가적인 변수를 고려할수록 기준유량에 근사한 결과를 산정하는 것으로 나타났다.(Baek et al., 2019)



<Fig. 31> 전력량법을 이용한 유량 산정 결과(Baek et al., 2019)

일단위 혹은 월단위의 하천수 사용량 보고시에 사용할 유량자료의 비교분석을 수행한 결과, <Fig. 32>와 같이 오차범위 3% 이내의 높은 정확도를 가지는 것으로 나타났다.(Baek et al., 2019)



<Fig. 32> 전력량법을 이용한 월단위 유량 산정 결과(Baek et al., 2019)

양수장에서 고비용 계측장비의 설치가 부담이 되는 경우, 전력량법을 이용한다면 전력량계, 수위계(없어도 유량 산정 가능) 정도의 계측장비로도 충분히 정확도 높은 자료를 확보할 수 있어, 경제성있는 취수량 자료 확보가 가능할 것으로 판단한다.

3.3.2 가동시간법(Operating method)

가동시간법은 양수장의 전력사용량 자료 확보가 어려울 경우, 펌프의 운영 시간을 이용하여 가동시간과 취수량 관계를 통해 유량을 산정하는 방법이다. 한국전력공사에서는 자체변압기를 통해 500 kWh/month 이상의 전력을 사용하는 지점에 대해서만 전력사용량 자료를 제공하기 때문에, 일반적인 소규모 양수장에서는 추가적인 전력량계를 구입하지 않는 이상 연속적인 전력사용량 자료를 확보하기 어렵다. 이러한 지점에서는 전력사용량 대신 펌프의 가동시간으로 유량을 산정할 수 있는 가동시간법이 효과적일 수 있다.

가동시간법은 전력량법과 동일한 이론식을 사용하고, 펌프가 가동되고 있는 동안 제원에 따라 항상 같은 유량을 산정하는 것으로 가정한다. 이로 인해 전력량법으로 산정되는 유량이나, 현장측정 유량과는 상이하게 동일한 값만 산정한다는 한계가 있다. 하지만 전력량법과 마찬가지로 시설설비 투입 비용이 매우 적고, 가동시간 기록만으로도 직접 계측방법 결과와 5% 내외의 차이를 보여 효율적인 계측방법이라 판단한다.

3.3.2.1 이론식

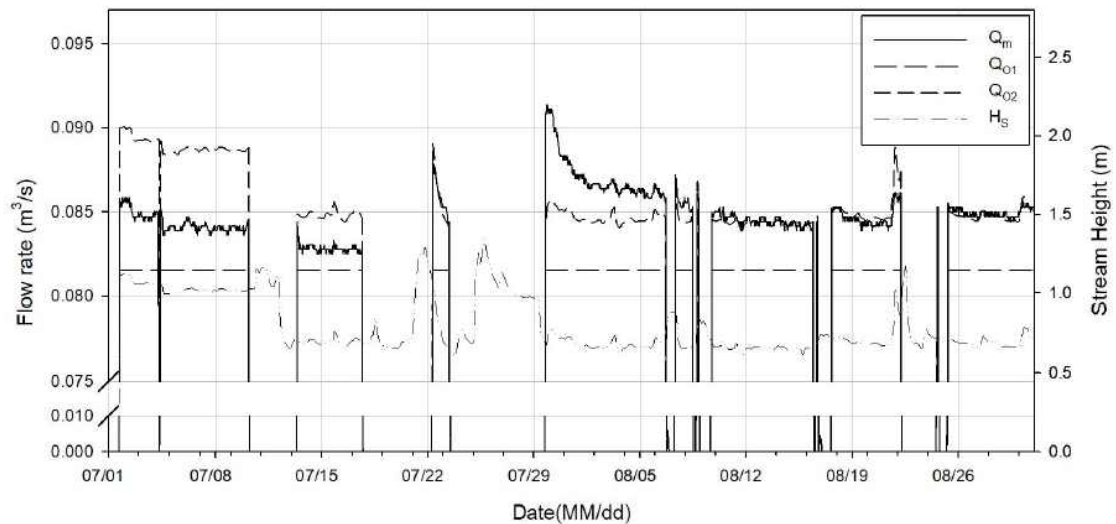
이론식은 전력량법의 <Eq. 24>, <Eq. 25>를 사용하는데, 다만 전력사용량 P 의 입력값을 실제 전력사용량이 아닌 양수장 펌프 전동기의 마력에 따른 고정 전력사용량을 사용한다.

3.3.2.2 적용사례

전력량법과 마찬가지로 가동시간법의 검증을 위해 만경강 유역에 위치한 양수장에 적용한 사례를 소개하였다. 남봉양수장은 11 HP 규모의 수중축류 펌프 1대로 250 mm 관경의 양수관을 통해 취수하고 있고, 흡입구와 토출구의 전양정은 7.6 m 정도의 소규모 양수시설이다. 실시간 전력사용량 자료를 확인할 수 없고, 월단위 사용량 확인이 가능하기 때문에, 기존의 전력량법 사용이 불가능한 지점이다.(Baek et al., 2020)

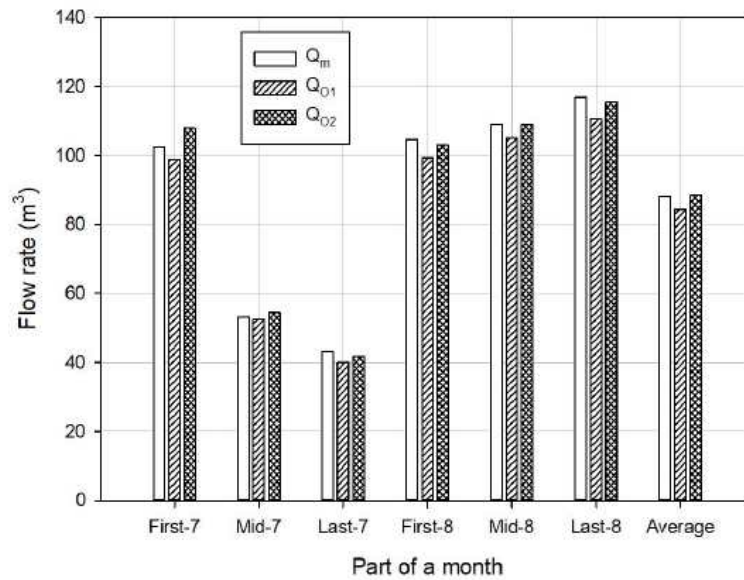
대상지점에는 양수관 말단에 전자기식 유량계를 설치하여 취수량을 계측하였고, 유

량계로 취수한 유량을 기준유량으로 설정하였다. 기준유량을 Q_m , 가동시간법으로 산정한 유량은 Q_{O1} , 하천 외수위를 고려한 가동시간법으로 산정한 유량은 Q_{O2} 로 구분하여 <Fig. 33>과 같이 나타내었다. 백분율 차이(Percent difference)로 비교하였을 때, Q_{O1} 은 기준유량 Q_m 대비 약 4%, Q_{O2} 는 기준유량 Q_m 대비 약 2%의 오차가 나타나는 것으로 산정되어, 정확도가 높은 것으로 나타났다.(Baek et al., 2019)



<Fig. 33> 가동시간법을 이용한 유량 산정 결과(Baek et al., 2020)

앞선 연속적인 유량자료를 총합하여 총량의 비교를 수행하였을 때, <Fig. 34>와 같이 Q_{O1} 은 기준유량 Q_m 대비 약 4%, Q_{O2} 는 기준유량 Q_m 대비 약 1%의 오차를 보이는 것으로 산정되었다.



<Fig. 34> 가동시간법을 이용한 월단위 유량 산정 결과(Baek et al., 2020)

소규모 양수장에서 고비용 계측장비의 설치가 부담이 되는 경우, 가동시간법을 이용한다면 양수장 펌프시설의 제원, 수위계(없어도 유량 산정 가능) 정도의 계측장비로도 충분히 정확도 높은 자료를 확보할 수 있어, 경제성있는 취수량 자료 확보가 가능할 것으로 판단한다.

3.3.3 수요량 추정(Demand estimation)

수요량 추정 방법은 대상 수리시설물을 이용해 하천수를 공급받는 수요지의 수혜면적별 수요량을 추정하는 방법이다. 수요량 추정을 위해서는 대상 수리시설물의 수혜면적의 조사, 수혜면적의 작물재배 현황, 작물별 필요수량 등 기초조사 자료의 확보가 우선되어야 하고, 수요지별 실제 사용량 및 회귀수량 등 전반적인 물수지 확인이 필요하다.

수요량 추정 방법은 계측시설의 설치 없이 유량을 추정할 수 있으나, 신뢰도 있는 유량자료의 확보는 어렵다.

4.0 하천수 취수량 계측자료의 관리

4.1 취수량 계측자료의 정리

「하천수규칙[2018.6.14.]」 제7조4항에서 하천수사용자는 매월 5일까지 지난달의 하천수 사용실적을 홍수통제소장에게 통보하도록 명시되어 있다. 하천수 사용실적 보고 별지 서식에 따르면 매월 5일 하천수 사용실적을 보고할 때, 지난달의 일단위 하천수 사용량($\text{m}^3/\text{일}$)을 보고하도록 되어 있다.

앞서 기술한 계측방법들을 이용해 계측된 취수량 자료는 최소 일단위의 자료로 정리되어야 한다. 「하천수규칙[2018.6.14.]」 제7조2항에서는 하천수 사용자가 기록 및 보관하여야 하는 사항은 다음 각 호와 같다.

① 하천수의 사용 날짜

취수량을 계측한 월일을 기록 및 보관한다.

② 하천수의 사용량

수문조사를 위한 유량측정은 소수점 이하 2자리까지(단위 : $\text{m}^3/\text{일}$)의 유량자료를 기록 및 보관하고 있고, 하천수 일허가량이 $0.01 \text{ m}^3/\text{일}$ 인 지점이 존재하기 때문에, 취수량 자료는 소수점 이하 2자리까지 기록 및 보관하도록 한다.

③ 하천수 사용량의 계측방법에 관한 사항

취수량을 계측한 방법에 관한 사항을 기록한다. ‘하천수 사용허가대장’, ‘하천수 사용신고대장’에 기록하도록 되어있고, 앞서 기술한 계측방법이 아닌 경우, 계측방법에 대한 상세사항을 기록할 필요가 있다.

④ 날짜별 취수장비의 가동 시각 및 종료 시각

‘하천수 사용실적 보고’ 서식상에는 기입하는 란이 없지만, 「하천수규칙[2018.6.14.]」 제7조2항에서 기록할 것을 명시하고 있기 때문에, 하천수 사용자가 별도로 기록 및 보관할 필요가 있다.

이상의 내용을 정리하여 보고하도록 되어 있는데, 「하천수규칙[2018.6.14.]」 제7조4항에서 하천수사용자는 매월 5일까지 지난달의 하천수 사용실적을 홍수통제소장에게 통보하도록 명시되어 있다. 하천수 사용실적 보고 별지 서식은 다음과 같다.

발신기관명

수신자

(경유)

제 목 하천수 사용실적 보고

「하천법」 제52조제3항 및 「하천수의 사용 및 관리 등에 관한 규칙」 제8조제4항에 따라 하천수 사용실적을 아래와 같이 보고합니다.

하천수 사용자	성 명 (법인명)			
	주 소			
허가개요	취수위치	(하천명 :)		
	시설물 명칭		허가번호	제 호
	허가량	m ³ /일		
	용 도	[] 생활용수	[] 공업용수	[] 농업용수 [] 기타
	허가기간	년 월 일부터 년 월 일까지		

()월 중 하천수사용실적

일자	사용량(m ³ /일)	일자	사용량(m ³ /일)	일자	사용량(m ³ /일)
계		11		22	
1		12		23	
2		13		24	
3		14		25	
4		15		26	
5		16		27	
6		17		28	
7		18		29	
8		19		30	
9		20		31	
10		21			

발 신 명 의

작 인

기안자 직위(직급) 서명

검토자 직위(직급)서명

결재권자 직위 (직급)서명

협조자

시행 처리과-일련번호(시행일자)

접수 처리과명-일련번호(접수일자)

우 주소

/ 홈페이지 주소

전화()

전송()

/ 기안자의 공식전자우편주소

/ 공개
구분

210mm×297mm[백상지(80g/㎡)]

4.2 취수량 계측자료의 보고

「하천법」 제52조, 같은법 시행령 제60조 및 같은법 시행규칙 제29조에 따라 일정 규모 이상 하천수 사용자(생활용수 5,000 m³/일, 공업용수 1,000 m³/일, 농업용수 8,000 m³/일)는 계측시설을 설치하도록 명시하고 있다. 「하천수규칙[2018.6.14.]」 제7조4항에서 하천수사용자는 매월 25일까지 다음 달의 사용계획 및 매월 5일까지 지난 달의 사용실적을 홍수통제소장에게 통지하고, 관련내용들은 기록·보관하여야 한다. 홍수통제소에서 관리하고 있는 취수량 자료는 <Fig. 35>와 같다.

허가코드	용도	관리원	취수량(예시)	수계명	분류	유수의 계통 (수계)
000000000000	농업	하천		안성천	안성천	제1지류 제2지류 제3지류

허가코드	용도	관리원	양수장(예시)	수계명	분류	유수의 계통 (수계)
000000000000	농업	하천		안성천	안성천	제1지류 제2지류 제3지류

(단위 : m³/d)

Month	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
Date	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
1	0	0	0	0	10,370	17,280	0	17,280	0	0	0	0
2	0	0	0	0	10,370	17,280	0	17,280	0	0	0	0
3	0	0	0	0	10,370	17,280	0	17,280	0	0	0	0
4	0	0	0	0	10,370	17,280	0	17,280	0	0	0	0
5	0	0	0	0	10,370	17,280	17,280	17,280	0	0	0	0
6	0	0	0	0	10,370	17,280	17,280	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	17,280	17,280	17,280	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	17,280	17,280	17,280	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	17,280	17,280	0	17,280	0	0	0	0
10	0	0	0	0	17,280	17,280	0	17,280	0	0	0	0
11	0	0	0	0	17,280	17,280	17,280	15,640	0	0	0	0
12	0	0	0	0	10,370	17,280	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	10,370	17,280	17,280	17,280	0	0	0	0
14	0	0	0	0	10,370	17,280	17,280	17,280	0	0	0	0
15	0	0	0	0	10,370	17,280	17,280	17,280	0	0	0	0
16	0	0	0	0	10,370	17,280	17,280	17,280	0	0	0	0
17	0	0	0	0	10,370	0	17,280	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	10,370	17,280	17,280	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	10,370	17,280	17,280	17,280	0	0	0	0
20	0	0	0	0	10,370	17,280	17,280	17,280	0	0	0	0
21	0	0	0	0	10,370	17,280	0	17,280	17,280	0	0	0
22	0	0	0	0	10,370	17,280	17,280	17,280	0	0	0	0
23	0	0	0	0	10,370	0	17,280	8,640	0	0	0	0
24	0	0	0	0	10,370	0	17,280	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	10,370	17,280	17,280	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	10,370	17,280	17,280	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	10,370	17,280	0	17,280	0	0	0	0
28	0	0	0	0	10,370	17,280	0	17,280	0	0	0	0
29	0	0	0	0	10,370	17,280	17,280	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	10,370	17,280	17,280	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	8,640	0	17,280	0	0	0	0
계	0	0	0	0	199,090	433,740	448,250	328,320	212,640	0	0	0
평균	0	0	0	0	10,370	15,491	17,280	17,280	16,338	0	0	0
최대	0	0	0	0	10,370	17,280	17,280	17,280	0	0	0	0
최소	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
보고일수	31	28	31	30	31	30	31	30	31	30	31	31
사용일수	0	0	0	0	19	28	28	13	0	0	0	0

통 계 치 (Statistics)

허가량(m ³ /d)	17,280	연보고일수(일)	365
순간최대허가량(m ³ /s)	0.200	연사용일수(일)	105
연사용량(m ³)	1,620,770	가동률(%)	29
연평균사용량(m ³ /d)	15,436	연평균사용률(%)	89
연최대사용량(m ³ /d)	17,280	연최대사용률(%)	100

(단위 : m³/d)

Month	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
Date	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
1	0	0	0	0	19,872	19,872	0	9,790	0	0	0	0
2	0	0	0	0	19,872	19,872	0	19,872	0	0	0	0
3	0	0	0	0	19,872	19,872	0	19,872	0	0	0	0
4	0	0	0	0	19,872	19,872	0	19,872	0	0	0	0
5	0	0	0	0	16,643	19,872	0	11,748	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	19,872	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	13,644	19,872	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	19,872	19,872	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	19,872	19,872	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	19,872	19,872	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	3,916	19,872	19,872	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	8,811	19,872	11,748	9,790	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	19,872	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	7,872	19,872	0	9,790	0	0	0	0
15	0	0	0	0	3,916	19,872	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	7,872	19,872	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	7,872	16,643	9,790	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	8,811	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	8,811	8,811	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	5,874	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	9,790	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	8,811	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	15,644	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	8,811	19,872	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	15,644	19,872	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	19,872	19,872	0	9,790	0	0	0	0
30	0	0	0	0	19,872	19,872	0	9,790	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	21,872	0	0	0	0	0	0
계	0	0	0	0	136,743	431,121	349,030	36,360	61,154	0	0	0
평균	0	0	0	0	9,768	16,744	17,351	9,790	16,231	0	0	0
최대	0	0	0	0	19,872	19,872	19,872	9,790	19,872	0	0	0
최소	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
보고일수	31	28	31	30	31	30	31	30	31	30	31	31
사용일수	0	0	0	0	14	25	14	0	3	0	0	0

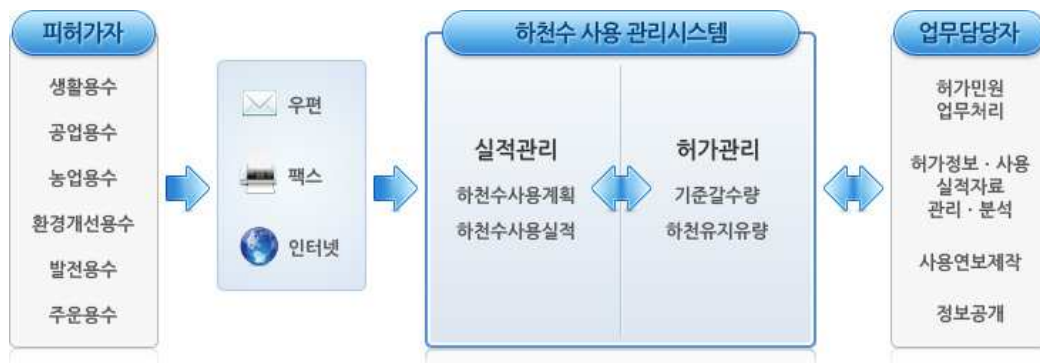
통 계 치 (Statistics)

허가량(m ³ /d)	19,872	연보고일수(일)	365
순간최대허가량(m ³ /s)	0.230	연사용일수(일)	60
연사용량(m ³)	938,100	가동률(%)	16
연평균사용량(m ³ /d)	15,635	연평균사용률(%)	79
연최대사용량(m ³ /d)	19,872	연최대사용률(%)	100

<Fig. 35> 하천수 사용 연보

4.3 취수량 계측자료의 보존

「하천수규칙[2018.6.14.]」 제7조4항에서 하천수사용자는 매월 5일까지 지난달의 하천수 사용실적을 홍수통제소장에게 통보하도록 명시되어 있다. 사용실적 보고대상은 생활 5,000 m³/일, 공업용수 1,000 m³/일, 농업용수 8,000 m³/일 이상의 하천수 사용자이다. 홍수통제소는 통보받은 사용계획 및 실적보고는 홍수통제소장이 인정하는 전자문서나 정보시스템(하천수사용관리시스템)을 이용하여 관리하고 있다. 하천수사용관리시스템의 허가 및 실적 관리 처리절차는 <Fig. 36>과 같다.



<Fig. 36> 하천수사용관리시스템 허가 및 실적 관리>

5.0 참고자료

- Baek, J. S., Kim, C. Y., Cha, J. H., Song, J. H. (2019). "A study on the applicability of power usage method for the analysis of river water intake." Journal of Korea Water Resources Association, KWRA, Vol. 52, No. 12, pp. 975-984.
- Baek, J. S., Kim, C. Y., Cha, J. H., Song, J. H. (2020). "A study on the estimation of river water intake using the operating time of the pumping station." Journal of Korea Water Resources Association, KWRA, Vol. 53, No. 2, pp. 89-96.
- Baek, J. S., Kim, C. Y., Lee, K. S., Kang, H. W., Song, J. H. (2020). "Application of microwave water surface current meter for measuring agricultural water intake." Journal of Korea Water Resources Association, KWRA, Vol. 53, No. 12
- Henry, H. R. (1950). "Discussion: diffusion of submerged jet." Transactions of the American Society of Civil Engineers, Vol.115, pp. 687-697.
- Swamee, P. K. (1992). "Sluice-gate discharge equations." Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 118, No. 1, pp. 56-60.
- Lee, S. H., Kim. W. G., Kim. Y. S. (1997). "Practical aspects of microwave Surface Velocity Meter applied to measurements of stream discharges." Journal of Korea Water Resources Association, KWRA, Vol. 30, No. 6, pp. 671-678.
- Chiu, C-L., and Murray, D. W. (1992). "Variation of velocity distribution along nonuniform open- channel flow." Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 118, No. 7, pp. 989-1001.
- Cha, J. H., Kim, C. W., Cho, Y. S. (2014). "Development and application of isovel distribution in velocity profile method using poisson equation." Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, KOSHAM, Vol. 14, No. 6, pp. 325-336.
- Cha, J. H., (2015). Development and Application of Velocity Profile Method with Poisson Equation. Ph. D. dissertation, University of hanyang, Seoul, Republic of Korea.
- Song, J. H., Park, M. H., Cha, J. H., Kim, C. Y. (2019). "Applicability evaluation of velocity profile method by V-ADCP measuring real-time river water use." Journal of Korea Water Resources Association, KWRA, Vol. 52, No. 1, pp. 83-96.
- Ruhl, C.A., and Simpson, M.R., 2005, Computation of discharge using the index-velocity method in tidally affected areas: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2005 - 5004, 31 p.

Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. (2018). Pump design for Pumping station. KDS 67-30-20, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Korea, pp. 20-23.

Ministry of Construction & Transportation. (2004). Streamflow measurement manual. Ministry of Construction & Transportation, Korea

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 물관리연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 물관리연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.