Journal of the Korean Society of Civil Engineers
Vol. 33, No. 5: 1777-1783/ September, 2013
DOI: http://dx.doi.org/10.12652/Ksce.2013.33.5.1777

ISSN 1015-6348 (Print)
ISSN 2287-934X (Online)
www.kscejournal.or.kr

Water Engineering **수공학**

임의형상 파샬플륨에 대한 무차원 유량공식 산정

김수영* · 이승오**
Kim, Sooyoung*, Lee, Seung Oh**

Dimensionless Discharge Formula of Parshall Flumes with Arbitrary Shape

ABSTRACT

Parshall flume is more practical one of hydraulic structures for measuring flowrate in open channels and also has more advantages when the magnitude of flow velocity is relatively lower or much more sediments are brought from upstream. International Organization for Standardization (ISO) has suggested the empirical formulas standardized by the sizes and dimensions of Parshall flume. However, the related studies using the numerical simulations and experiments are relatively rare. Therefore, in this study, it was examined whether the numerical simulation was adequacy for reproducing the hydraulic characteristics of Parshall flume as much as laboratory experiments by comparing the results from numerical simulations and empirical equation. And for arbitrary Parshall flume, that is unlisted in the ISO standards due to environmental conditions, constructional difficulties etc, thus, the hydraulic experiments should be conducted to obtain the empirical formulas for it, the results from numerical simulations were compared with those of laboratory experiments. Consequently, it was convinced that the numerical simulation about Parshall flume was simulated appropriately instead of experimental approach. And the dimensionless discharge equation of arbitrary ones was suggested using the results of numerical simulations, and the equation was validated by comparing with laboratory experimental results showing the maximum relative error of 2.3%. If the actual topography, the shape of inlet and submerged flow, which is excluded in this study, were carefully considered, it would be possible to supply a simple empirical discharge equation based on numerical results. Also, it can replete hard works for hydraulic experiment being error-prone with complex procedures to a minimum of economic effort.

Key words : Parshall flume, Non-dimensional discharge formula, Hydraulic experiment, Numerical simulation

초 록

유량측정방법 중에서 파샬플륨을 이용하는 방법은 유속이 매우 느리거나 토사유입이 많은 지점에서 상대적으로 유리하다. 국제표준화기구(ISO : International Organization for Standardization)에 파샬플륨의 규모별 규격화된 경험식이 제시되어 있지만, 규격을 따르지 않는 파샬플륨에 대한 수리실험이나 수치모의를 통한 연구는 다소 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 ISO 규격 파샬플륨에 대하여 경험식과 수치모의를 비교하여 파샬플륨에 대한 수치모의의 적정성을 검토하였고 현장 여건 등의 이유로 ISO 규격을 따르지 않는 파샬플륨은 유량산정공식을 얻기 위해서 수리실험을 수행해야만 했다. 이러한 임의형상의 파샬플륨에 대하여 동일 조건의 수리실험 및 수치모의 결과를 비교 검토하였다. 그 결과 수치모의가 파샬플륨의 수심과 유량을 적절하게 모의하고 있음을 확인하였다. 이 결과를 이용하여 임의형상에 대한 무차원 유량산정공식을 도출하였으며, 식을 통해 산정된 값과 실험값을 비교하였다. 그 결과 오차는 최대 2.3%로 나타났다. 파샬플륨의 규모결정시 실제 지형과 유입부 형상 등을 고려한 수치모의를 수행한다면 수치모의에 기초한 유량산정공식을 쉽게 도출 할 수 있을 것이다. 또한, 복잡한 수행과정으로 인해 오차가 발생하기 쉬운 수리모형실험을 경제적으로 보완할 수 있을 것으로 판단된다.

검색어 : 파샬플륨, 무차원 유량산정공식, 수리실험, 수치모의

* 정회원 · 홍익대학교 건설도시공학부, 박사과정 (freedance80@gmail.com)
** 정회원 · 교신저자 · 홍익대학교 건설도시공학부, 조교수 (**Corresponding Author** · Hongik University · seungoh.lee@hongik.ac.kr)

Received January 14, 2012/ **revised** April 17, 2012/ **accepted** April 17, 2013

Copyright ⓒ 2013 by the Korean Society of Civil Engineers
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

현재 한반도의 강우의 경향은 지구온난화에 따른 이상기후의 영향으로 단기간에 집중되어 기존의 설계홍수량을 초과하는 강우가 종종 발생하고 있다. 따라서 체계적인 수자원 관리의 필요성이 증가하고 있다. 강우가 집중되면 특히 우리나라의 지형특성상 도달거리가 짧고 경사가 커서 더 큰 홍수피해를 초래할 수 있다. 수자원 관리 중 하천에서의 유량측정은 수자원을 관리하고 정책을 결정하기 위해 매우 중요한 기초자료이다. 하천이나 수로의 유량을 측정하는 대표적인 방법은 대하천의 경우 수위계나 유속계를 이용하는 것이다. 그러나 지방하천이나 소하천의 경우에 수위계나 유속계를 이용하여 유량을 모니터링 하는 것은 그 수가 상대적으로 너무 많아 그 경제적 효율성이 떨어진다. 따라서 월류고의 측정만으로 유량을 측정할 수 있는 위어를 이용하는 것이 일반적이며 경제적인 방법이다. 그러나 위어는 에너지의 손실이 크고 흐름의 정체현상이 발생하며 하천의 흐름을 단절시키기 때문에 홍수시에 상류로의 배수효과로 인해 수위상승을 초래하여 범람을 초래할 수 있다. 또한 하천내의 생태계 유지와 연속성을 위해 별도의 어도를 설치한다. 위어는 상류에 토사가 퇴적되어 하류로의 유사 공급을 감소시켜 자연하천의 하상형태인 여울과 소의 생성에 영향을 주게 된다. 또한 위어의 상류에 퇴적되는 토사를 주기적으로 준설을 해주어야 하기 때문에 유지 관리에 어려움이 따른다. 그에 비해 20세기초 Ralph Parshall에 의해 제안된 파샬플륨은 수두의 손실이 위어의 약 1/4에 불과하며 흐름의 연속성을 유지하기 때문에 유사를 그대로 통과시켜 상류에 유사가 퇴적되지 않아 상대적으로 유지 관리가 용이하다. 파샬플륨은 상류의 수심만 측정하면 유량을 모니터링 할 수 있는 장점뿐만 아니라 유지관리에도 장점을 가질 수 있는 유량측정방법이다. 또한 파샬플륨의 형상에 의해 한계류를 인위적으로 발생시킬 수 있으므로 파샬플륨의 규모를 제어한다면 평시뿐만 아니라 홍수시의 유량 까지도 측정이 가능하다. 파샬플륨에 대한 초기연구는 구조물의 상류 및 하류수심에 따른 통과유량에 대한 연구가 대부분 이었다. Steven 등(1994)은 작은 유량에 대한 파샬플륨의 유량공식을 다양한 조건의 수리모형실험을 이용하여 검정하였으며 Zytner 등(1998)은 파샬플륨의 용존산소율 증가효과를 연구하였다. Hirt 등(1994)은 FLOW-3D를 이용하여 USBR (U.S. Bureau of Reclamation)의 1 ft의 파샬플륨에 대해서 상류수심을 0.8 ft로 고정하고 하류수심을 변화시키면서, 자유흐름, 수중흐름, 완전 수중흐름으로 구분하여 유량을 산정하였고 USBR에서 제시한 유량산정공식으로 도출된 유량과 비교분석하여 두 값이 유사함을 보였다. 그러나 상류 경계조건에 설정된 수심은 파샬플륨의 형상이 시작되는 곳에서의 수심으로 단면적 축소에 의한 손실 등과 같은 파샬플륨 내의 수두손실을 반영하지 않은 수심이라는 한계를 가지고 있으며 격자의 제한으로 인해 파샬플륨의 절반과 그 인접부분만을 수치모의하여 상하류 흐름 및 파샬플륨의 형상을 제대로 고려하지 못했다. 국내에서는 오병동 등(2004)에 의해 파샬플륨에 관한 연구가 이루어졌으며 FLOW-3D와 경험식 및 수심-유량 관계식을 비교하였다. 파샬플륨에 대하여 국제표준규격(ISO-9826)에서는 규모별 규격화된 경험식을 제안하고 있으나 ISO에서 파샬플륨을 규격화 하고 경험식을 제안한 후에 수위에 따른 유량변화에 대한 연구는 거의 이뤄지지 않고 있으며 따라서 현장 여건 등으로 인해 규격에 없는 파샬플륨을 설치해야 할 경우에 대한 제언은 거의 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 파샬플륨의 적용성을 높이기 위해 수치모의 및 수리실험을 통하여 임의 형상 파샬플륨의 특성에 관한 연구를 수행하였다. 그러나 ISO에서 제시하고 있고, 이전 연구자들에 의해서 많이 수행되었던 잠수월류에 대한 부분은 파샬플륨이 한계류 발생조건에서 유량을 산정하는 방법이므로 잠수월류에 대한 적용성 문제는 크게 중요하지 않다고 판단하여 본 연구에서는 제외하였다. FLOW-3D를 이용한 3차원 수치모의와 수리실험을 통해 ISO기준을 따르지 않은 파샬플륨에 대하여 수치모의와 수리모형실험을 비교하였으며 수심-유량 산정공식을 도출하였다. 이를 통해 임의 형상의 파샬플륨의 설계 및 시공이 필요한 경우 시간과 비용이 많이 소요되는 수리실험이 아닌 상대적으로 경제적인 수치모의의 결과를 활용하는 것이 충분한 신뢰성이 있음을 보였으며 외부 경계조건에 따른 파샬플륨의 규모를 수치모의를 활용하여 결정할 수 있는 근거를 제시하였다.

2. 기본이론

파샬플륨은 벤츄리플륨을 포함하는 특별한 형상을 갖는 유량측정장치를 말하며 수로의 중간에 경사면을 제작하여 한계류가 발생하도록 하여 유량을 측정하도록 되어 있다. 초기 파샬플륨은 농업의 관개용수를 효과적으로 배분하고 관리하기 위한 목적으로 제작되었다. 파샬플륨의 주요 장점으로는 수두손실이 위어에 1/4밖에 안한다는 것이며 파샬플륨의 상류 또는 파샬플륨 내에 유사가 퇴적되지 않아 유사를 다량 포함하고 있는 흐름에 적절하다. 그러나 단점으로 점수월류의 경우 유량의 신뢰성이 떨어지며 별도의 보정과정을 거쳐야 한다는 것이다.

2.1 파샬플륨 유량산정공식(ISO-9826)

파샬플륨은 농업의 관개용수를 효과적으로 배분하고 관리하기 위한 목적으로 제작되었다. 파샬플륨은 사각형 단면에서 수로의 중간에 수로폭을 축소시킨 수리구조물인 벤츄리 플륨을 포함하는 형상이며 구조물 내의 일부분의 경사를 급하게 하여 한계수심을 발생시켜 유량을 측정할 수 있는 계측장치이다. ISO에서 제시하고

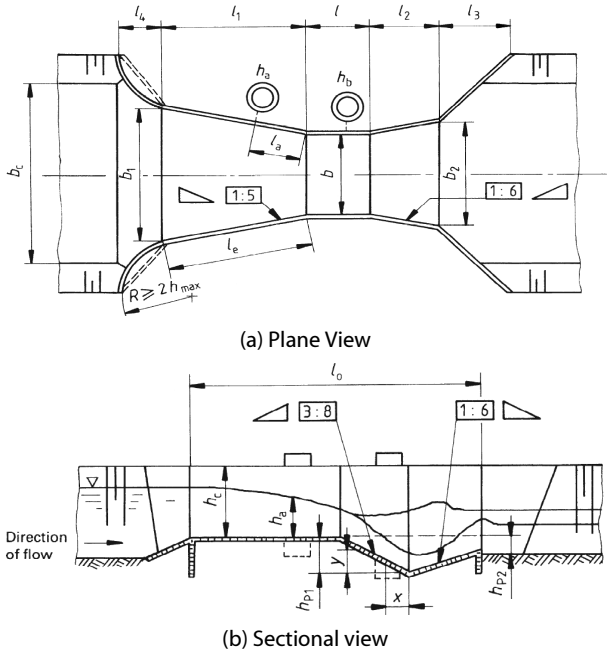


Fig. 1. Parshall Flume Dimensions (ISO-9826)

있는 표준 파샬플륨에 대한 유량산정공식 및 표준 파샬플륨의 제원은 ISO-9826에서 설명하고 있다. 파샬플륨의 형상은 Fig. 1에 나타냈다. b_1은 파샬플륨 입구의 폭이고, b는 목부분의 폭, b_2는 출구의 폭이다. 목부분 상류의 경사는 3:8, 하류경사는 1:6으로 상류가 급하고 하류가 완만한 형태이다.

ISO-9826에서 제시하고 있는 표준 파샬플륨의 산정공식은 Eqs. (1) and (2)와 같으며 각 파샬플륨의 규격별 C값과 n값 또한 ISO-9826(ISO, 1992)에서 표로 제시하고 있다.

$$Q = Ch_a^n \tag{1}$$

$$C = C_D b \times 3.279^{n'} \tag{2}$$

여기서, h_a는 파샬플륨의 기준수심으로서 목부분과 입구부분의 거리(l_e)의 2/3지점에 위치한다(l_a=2/3 l_e). C_D는 유량계수이고, n'은 b에 의해 정해지는 지수이다. 규격화된 형상에서는 C_D, n', b값 모두 상수이므로 ISO 파샬플륨 유량산정 공식에서 규격별로 C라는 하나의 계수로 제시하고 있다.

3. 연구방법

3차원 수치모의를 이용한 임의형상 파샬플륨의 설계를 위해 수리실험과 수치모의를 수행하여 결과를 비교하였다. 수리실험은 파샬플륨의 상·하류 수심조건을 설정하고 유입유량과 파샬플륨내 수심을 측정하였다. 또한 수치모의는 수리실험과 동일한 형상에 대해서 유입유량을 동일하게 설정하였을 때 파샬플륨내 수심을 비교하여 3차원 수치모의가 수심변화를 제대로 반영하는지 확인하였다. 이를 통해 임의형상의 파샬플륨을 설계시 수치모의를 이용하는 것이 타당한지를 검증하였다.

3.1 수리실험

본 연구에서는 폭 0.8m의 개수로를 사용하였으며, 유량조건은 실험수로의 고가수조에 설치된 삼각위어를 월류하는 유량을 유입유량으로 하였고, 삼각위어의 월류고를 측정하여 유량을 산정하였다. 자세한 임의형상 파샬플륨의 형상 및 치수는 Table 1에 나타냈으며 l_u는 파샬플륨 설치구간의 상류수심, l_d는 파샬플륨 설치구간의 하류수심이다. ISO규격에 목부분의 상류경사와 하류경사는 모든 파샬플륨에서 각각 3:8과 1:6으로 제시되어 있지만 임의형상 파샬플륨은 상류경사 1:3.7, 하류경사 1:10.1으로 규격보다 완만하게 제작되었다. 이는 하상고의 제약이 있을 경우 파샬플륨의 경사를 변경하여 설치하는 경우로 가정할 수 있다.

Table 1. Dimension of Arbitrary Parshall Flume in this Study (Unit : m)

l_u	l_a	`h_{p1}	h_{p2}	l_d	l_1	Slope of upstream
2.4	0.576	0.084	0.114	2.4	0.863	1:3.7
l_2	l	b_c	b_1	b	b_2	Slope of downstream
0.749	0.305	0.8	0.64	0.3	0.5	1:10.1

3.1.1 계측방법

수리실험에서 유량측정은 삼각위어를 이용하였으며 월류고의 변화가 1% 이내가 되는 정상상태가 될 때까지 충분한 시간이 지난후 월류고를 측정하였다. 월류고의 측정은 고수조에 0.1mm까지 측정이 가능한 초음파 수위계를 설치하여 측정하였으며 수위오차에 대해서 유량으로 환산시 오차율은 ±0.12%이다. 월류고-유량곡선($Q=1.4843\times h^{2.5}$)으로 유량을 산정하였다. 또한, 수심의 측정은 포인트 게이지와 수로의 측면을 디지털캠코더로 연속 촬영하여 이미지 작업을 통해 수심을 측정하였다. 포인트 게이지와 디지털캠코더를 통한 이미지 작업 모두 최소눈금이 1mm 인 측정자를 가지고 있으므로 계측오차는 모두 ±0.5mm이다.

3.1.2 수리실험 조건

수리실험의 상류 경계조건으로는 파샬플륨 상류 2m 지점을 기점수심으로 하여 0.20m, 0.25m 및 0.30m로 설정하였고, 하류

Table 2. Boundary Conditions for Hydraulic Experiments

Case	Water elevation of Upstream h_u (m)	Water elevation of Downstream h_d(m)
01	0.200	0.100
02		0.160
03		0.180
04	0.250	0.125
05		0.200
06		0.225
07	0.300	0.150
08		0.240
09		0.270

Table 3. Upstream Discharges for Hydraulics Experiments

Case	Water elevation of Upstream h_u (m)	Discharge Q(m^3/s)
01, 02. 03	0.200	0.0151
04, 05, 06	0.250	0.0313
07, 08, 09	0.300	0.0505

경계조건으로 하류수심변화에 따른 파샬플륨의 통과유량의 변화를 관찰하기 위해 상류수심의 0.5, 0.8, 0.9배로 변화시켰으며, 하류단 수문을 상하로 조정하여 수심을 설정하였다. 상류와 하류의 수심이 일정하게 유지될 때까지 충분한 시간을 기다린 후 유량 및 수심을 측정하였다. 각 케이스별 상하류 수심은 Table 2에 나타냈다.

3.1.3 유량측정 결과

파샬플륨 내부에서 한계심이 발생하기 때문에 상류수심이 같으면 하류수심에 관계없이 같은 유량을 나타낸다. 상류수심에 따른 유량 측정 결과를 각각 평균하여 Table 3에 나타냈다.

3.2 수치모의

3.2.1 수치모의 조건

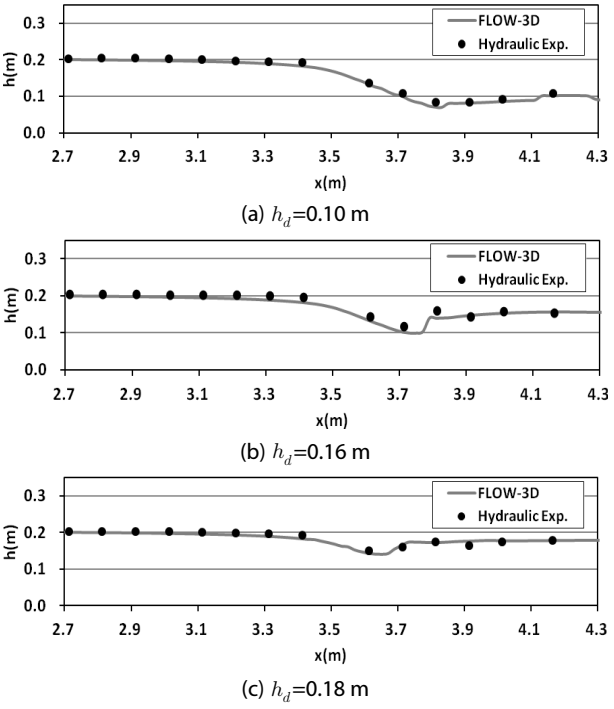
수치모의는 상류 경계조건으로 수리실험에서 측정된 통과유량을 설정하였으며 하류경계조건으로는 수리실험에서와 동일한 수심으로 설정하였다. 수리실험과 상하류조건을 동일하게 적용하여 파샬플륨 내의 수심변화를 비교하였다. 상류는 수심과 유량조건을 적용하였고, 하류 경계조건은 수심조건을 적용하였다. 수리실험과 동일하게 상류 수로의 길이를 8m로 설정하였으며 동일한 크기의 격자를 사용할 경우 수치모의 시간이 증가할 것으로 판단하여 Mesh Block을 이용하여 가변 격자로 생성하였다. 난류모형으로는 RNG(Renormalized group model)모델을 사용하였고 수치모의 시간은 정상상태가 될 때까지 충분한 시간동안 수치모의 하였다. 이 모형은 $k-\varepsilon$ 모형의 계수들을 통계적인 기법을 통해 조정한 것으로 작은 크기의 난류 운동을 가지는 유체의 움직임을 제거하고 제거된 유체가 큰 크기의 유체 움직임과 점성에 미치는 영향을 계수 조정과 수정된 점성력을 사용하여 표현하는 것이다. RNG 모델은 $k-\varepsilon$ 모형에 비하여 계산 시간은 길지만 복잡한 난류 흐름을 더욱 정확하게 모의할 수 있으며, 특히 저 Reynolds 수와 고 전단 흐름인 경우에 적합하다고 알려져 있다(Flow science, 2004). 본 연구에서는 수로폭과 경사가 변하는 파샬플륨의 복잡한 형상에서 발생하는 복잡한 난류흐름이 모의 가능하도록 난류모형을 RNG 모델로 설정하였다.

4. 수리실험 결과 및 수치모의 결과 비교

4.1 상하류 수심변화

파샬플륨내 수심 변화에 대해서 수리실험결과와 수치모의 결과를 비교하였다(Figs. 2~4 참조).

수리실험과 수치모의를 비교한 결과 모든 케이스에 대해서 수심의 분포 및 도수가 발생하는 위치가 거의 일치하였다. 동일한 유량을 유입했을 때 수심 분포 및 도수의 위치가 같은 것을 근거로 하여 수치모의를 이용한 파샬플륨의 해석은 높은 정확도를 가지고 있다고 판단하였다.

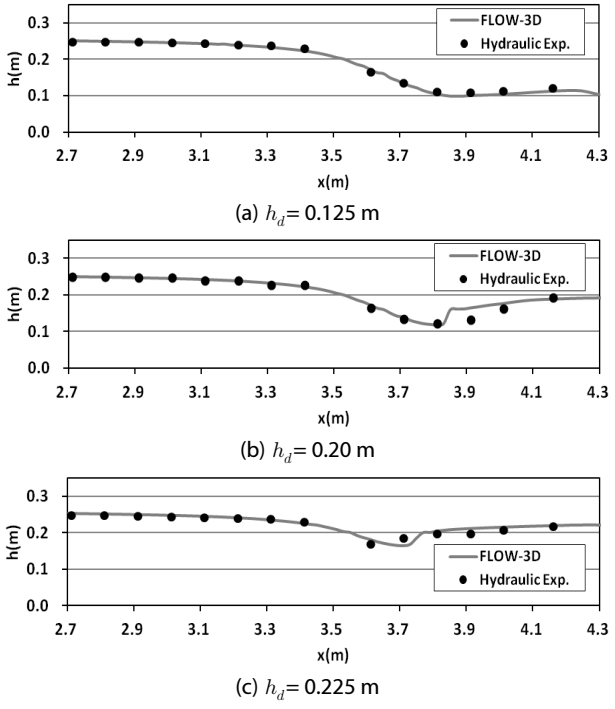


(a) h_d=0.10 m

(b) h_d=0.16 m

(c) h_d=0.18 m

Fig. 2. Comparison of Water Depth Between Hydraulic Experiments and Numerical Simulations for Downstream Depths (h_u= 0.20m)

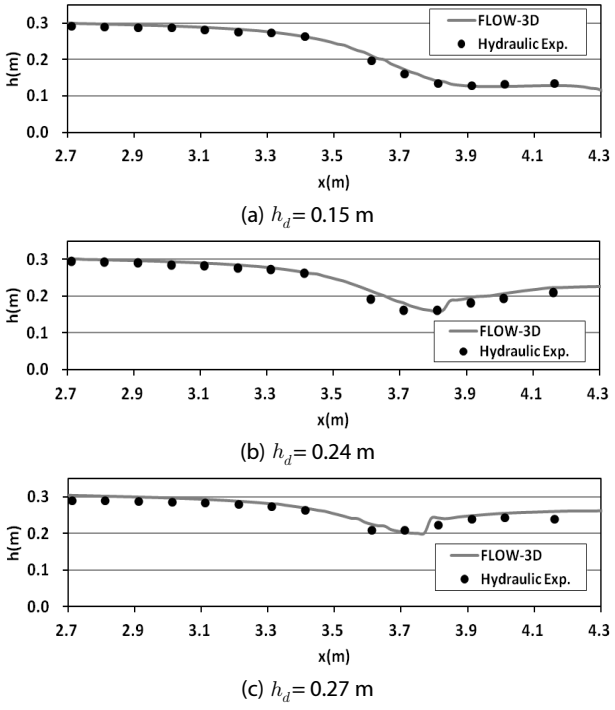


(a) h_d= 0.125 m

(b) h_d= 0.20 m

(c) h_d= 0.225 m

Fig. 3. Comparison of Water Depth Between Hydraulic Experiments and Numerical Simulations for Downstream Depths (h_u= 0.25m)



(a) h_d= 0.15 m

(b) h_d= 0.24 m

(c) h_d= 0.27 m

Fig. 4. Comparison of Water Depth Between Hydraulic Experiments and Numerical Simulations for Downstream Depths (h_u= 0.30m)

4.2 기준수심 h_a 값

수리실험과 수치모의를 통해서 파샬플륨의 유량산정시 사용되는 기준수심 h_a를 도출하였고 h_a의 값은 Table 4에서 비교하였다. h_a는 h_d가 각각 $0.5h_u$, $0.8h_u$, $0.9h_u$ 일 때의 값을 평균하여 산정하였다. 비교 결과 최소 0.27%~2.3%의 오차가 발생하였다. 이 값은 상대오차로는 큰 값을 나타냈지만 절대오차로는 최대 4mm의 오차로써 디지털 캠코더로 측정시 수면과 공기의 경계면을 정확하게 구분하지 못해 발생하는 오차와 난류에 의한 수면의 요동 등에 의한 오차로 판단된다. 이런 오차의 원인에도 불구하고 2.3%이내의 오차는 상당히 일치하는 값이며 따라서 수치모의가 파샬플륨의 내부의 현상을 잘 재현했다고 판단된다.

Table 4. Relative Error for h_a Between Hydraulic Experiments and Numerical Simulations

Q (m^3/s)	h_u (m)	Hydraulic Exp. h_a(m)	Num. Sim. h_a(m)	Relative Error
0.0150	0.20	0.087	0.085	2.30 %
0.0313	0.25	0.133	0.133	0.27 %
0.0505	0.30	0.178	0.182	-2.25 %

4.3 유량산정공식 도출

임의 형상의 파샬플륨에 대해서 수리실험과 수치모의를 통해 파샬플륨내 수심분포를 비교하였고 기준수심 h_a값을 산정하여 비교한 결과 수리실험과 수치모의의 결과는 거의 동일한 경향을 나타냈다. 이는 임의 형상의 파샬플륨의 설계시 수치모의만으로 유량산정공식을 산정하여도 그 정확도가 확보된다는 것을 의미한다. 따라서 수치모의 결과를 이용하여 임의형상 파샬플륨에 대한 유량산정공식을 h_a와 Q의 관계를 식으로 표현하면 Eq. (3)과 같다. 그리고 Eq. (3)과 실험값 및 수치모의 결과는 거의 일치하는 경향을 나타냈다(Fig. 5 참조). 따라서 수치모의를 통한 유량산정공식의 도출은 타당한 것으로 판단되었다.

$$Q = 0.7767\ h_a^{1.6} \tag{3}$$

수리실험과 동일한 케이스 외에 추가적인 수치모의(Additory Numerical Simulation)를 수행하고 Fig. 5에 함께 도시하였다. 추가 수치모의에 대해서 상대오차의 절대값은 최소 0.71%~9.55%로 나타났으며, 하류의 수위가 커질수록 오차가 커지는 현상이 나타났다. 그 원인으로는 하류수위의 증가에 따라 부분적으로 잠수월류흐름으로 변하면서 통과유량이 감소하면서 나타나는 현상으로 판단되며 이는 본 연구에서 도출한 유량 산정공식은 완전월류에 대한 식이므로 잠수월류현상을 반영하지 못하기 때문으로 예상된다. 하류수위가 높아 잠수월류가 발생하는 경우를 제외하고는

약 3%오차 내외로 비교적 잘 일치하는 경향을 나타냈다.

수치모의를 통해 산정된 유량산정공식을 범용적으로 사용하기 위해 무차원화시켜 변환하였으며 잠수월류의 영향에 의해 오차가 7.80%, 9.55%가 발생한 케이스는 제외하였다. 새롭게 산정된 무차원 유량산정공식은 Eq. (4)와 같다.

$$\frac{Q}{Q_a} = C' \left(\frac{h_a}{b_a} \right)^{n'} \tag{4}$$

여기서, Q_a는 h_a가 한계수심이라 가정하였을 때의 유량을 나타내며 $Q_a = AV = b_a h_a \sqrt{g h_a}$ 로 산정한다. b_a는 h_a를 측정한 지점의 폭이며 0.527 m이다. C', n'는 무차원식에 의해 새롭게 산정된 계수 및 지수이다. 무차원 변수 Q/Q_a와 h_a/b_a를 이용하여 그래프를 도시하여 Fig. 6에 나타냈으며, 무차원 유량산정공식의 계수와 지수를 회귀분석을 통해 결정하였다(Eq. (5)참조).

$$\frac{Q}{Q_a} = 0.426 \left(\frac{h_a}{b_a} \right)^{0.074} \tag{5}$$

무차원 유량산정공식은 폭-수심비가 커질수록 무차원 유량의 증가율이 감소하는 형태로 나타났으며 수심대비 폭의 비가 커져

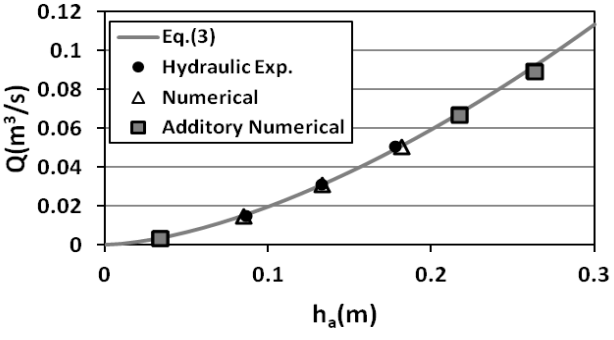


Fig. 5. Comparison of Discharge-Stage Equations with Numerical Results

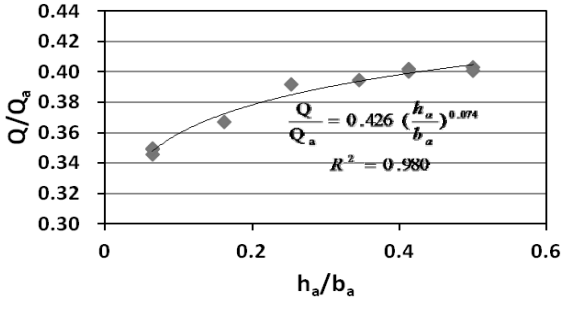


Fig. 6. Nondimensional Discharge Formula

Q/Q_a값이 1.0 보다 작을 때에는 흐름이 상류상태가 된다. 식 (5)에 따라 Q/Q_a이 1.0이 되는 h_a/b_a는 103,455 이다. 실제 파샬플륨에서 수심대비 폭의 비가 이 값이 나올 수 없으므로 본 연구에서 사용된 파샬플륨에서는 상류흐름만 존재할 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 파샬플륨의 적용성을 높이기 위해 임의형상에 대한 파샬플륨의 설계시 수치모의를 통해 유량산정공식을 도출하였다. 또한 유량산정공식을 무차원화하여 산정공식을 범용적으로 사용할 수 있고 수심조건과 파샬플륨의 형상에 따른 흐름의 특성을 파악하였다. 본 연구에서의 도출된 결론은 다음과 같다.

(1) 임의형상의 파샬플륨에 대한 수리실험 및 수리모의를 수행한 결과 파샬플륨내 수심의 분포가 거의 일치하였다.
(2) 기준수심 h_a의 값을 비교하였을 때 수리실험과 수치모의사이에서 0.27%~2.3%의 오차가 발생하였다.
(3) 수리실험과 수치모의를 통해 유량산정공식을 도출한 결과와 동일한 경향을 나타냈다. 따라서 수치모의를 통해 유량산정공식을 도출하는 것이 타당한 것으로 판단된다.
(4) 무차원화된 유량산정공식은 수심대비 폭의 비가 커질수록 무차원유량이 감소하는 형태를 나타냈다.
(5) 무차원 유량의 값이 1.0보다 작을 때는 파샬수로의 상류에 상류흐름이 발생하고 1.0 보다 클 때는 사류흐름이 발생한다. 본 연구에서 사용된 파샬플품은 상류흐름만 존재할 것으로 판단된다.

파샬플륨은 수심의 측정만으로 유량측정이 가능한 편리한 계측장비이다. 그러나 실무에서는 ISO의 규격화된 파샬플륨만을 사용해야 한다는 한계가 있었다. 따라서 실제설치환경에 최적화된 파샬플륨을 설계하여 사용하기에는 어려움이 있으며, 설계시에 수리실험을 통해 유량산정공식을 도출할 수밖에 없었다. 그러나 본 연구에서의 결과와 같이 파샬플륨을 비용과 시간적인 면에서 경제적인 수치모의를 통해 설계할 수 있다면 다양한 형태의 파샬플륨을 제작하여 사용할 수 있을 것이며 적용성 또한 크게 증가 할 것으로 판단된다. 추후 상하류 경사 및 폭과 같은 파샬플륨의 형상변화와 더 큰 기점수위에 대한 실험 및 경사수로에 파샬플륨을 설치하여 사용하는 것에 대한 연구를 수행한다면 유량산정공식에 기준수심 뿐만 아니라 파샬플륨의 형상과 수로의 경사까지 고려된 보다 발전된 유량산정공식을 제시할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신F01)에 의한 차세대 홍수방어 기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

Flow Science, Inc. (2003). *FLOW-3D user's manual*, Los Alamos, New Mexico.

Hirt, C. W. (2002). *Modeling turbulent air entrainment of air at a free surface*, Flow Science Inc., Technical Note, FSI-03-TN61.

Hirt, C. W. and Williams, K. A. (1994). *FLOW-3D predictions for free discharge and submerged parshall flumes*, Flow Science Technical Note, FSI-94-TN40.

ISO-9826(1992). *Measurement of liquid flow in open channels-parshall and SANIIRO flumes,* pp. 1-10.

Oh, B. D. (2004). *Flow analysis of Parshall flume using FLOW-3D*, Ph.D. Dissertation, Chungbuk National University, Korea (in Korean).

Parshall, R. L. (1926). "The improved venturi flume." *Trans.,* ASCE, Vol. 89, pp. 841-851.

Steven, R. and Wright, J. (1994). "Recalibration of parshall flumes at low discharge." *J. Irrig. and Drain. Eng.,* ASCE, Vol. 120, No. 2.

Zytner, R. G., Rahme. Z. G. and Labocha, M. (1998). "Oxygen uptake at parshall flumes." *Can. J. Civil. Eng*. Vol. 25. pp. 769-776.