

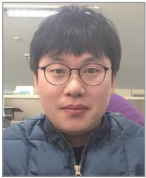


# 국내에서 활용하는 부자 보정계수의 근거에 대한 고찰



**김치영**

한국수자원조사기술원 연구개발실 실장  
cy\_kim@hsc.re.kr



**정문수**

한국수자원조사기술원 낙동강조사실 연구원  
jms1470@hsc.re.kr

측정하는 기술이 개발·도입되고 있으나 전면적으로 실용화하기에는 부족함이 있다. 이러한 기술은 지속적으로 시험·적용하여 기술을 평가하고 개량할 수 있도록 지속적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

홍수유량 측정에 부자법을 사용하는 경우, 주어진 수심에 대해 어떤 길이의 부자를 선택할 것인지, 어떤 부자의 보정계수를 사용할 것인가가 실무상의 가장 큰 문제이다. 이 글에서는 부자법에 사용되는 부자의 흘수에 따른 부자 보정계수의 근거를 설명하고자 한다.

## 1. 들어가며

수자원계획을 수립하기 위해서는 오랜 기간에 걸친 매년의 유량변화를 알 필요가 있다. 특히 합리적인 치수계획 수립, 홍수예보 등을 위해서는 홍수유량조사 자료가 필수적이다. 하천의 유량은 어떤 시점의 단면적과 유속을 측정하여 그 곱으로 유량을 계산하는 것이 일반적이다. 유속을 측정하는 방법은 유속계(회전식, 전자식)를 이용하는 방법이 가장 많이 활용되고 있다. 최근에는 유속과 단면적을 동시에 측정이 가능한 ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)의 이용이 확대되고 있다. 하지만 홍수기에는 빠른 유속, 다량의 부유물 유하 및 급격한 수위·유량의 변화 등으로 유속계를 이용하는 방법과 ADCP를 활용한 유량측정이 곤란하다.

이러한 이유로 우리나라와 일본에서는 홍수기 유량측정 방법으로 주로 부자법을 채택하고 있다. 최근 전자파, 영상, 레이더 등을 이용하여 표면유속을

## 2. 부자 보정계수의 역사

홍수 중의 연직유속분포에 대해서는 아직 충분히 알려져 있지 않지만, 일반적으로 수심방향의 유속분포는 표면 가까이가 빠르고, 하상부근은 느리다고 알려져 있다. 이를 전제하면 부자가 물에 잠겨 수체와 같은 속도로 움직여도 그 측선의 평균유속을 나타낼 수 없다. 따라서 평균유속에 가까운 값을 구하기 위해서 보정이 필요하다. 부자의 유하시간을 측정하여 구한 유속에 보정계수를 곱함으로써 평균유속에 가까운 값을 구한다.

부자 보정계수는 오래 전부터 연구되어지고 있지만, 모두 사용 상 문제를 지니고 있다. 이것은 연직 유속분포 곡선의 확정이 곤란하고, 실험수로와 실제 하천과의 비교가 곤란한 것에 기인한다. 흘수심이 같아도 수심의 변동에 의해 흘수비는 다른 것, 홍수 중 수심의 측정이 어려운 것, 유하거리간의 수심이 일정하지 않는 점 등 수많은 한계를 지니고 있다.

봉부자는 수면으로부터 하상부근까지 거의 전 수

심에 걸쳐 수류의 영향을 받기 때문에, 표면부자, 이 중부자에 의한 경우보다도 비교적 평균유속을 잘 얻고 있다. 하지만 봉부자의 경우라고 하더라도 전체 수심의 유수의 영향을 받는 것은 아니다. 그럼에도 불구하고 남은 하부 수심의 유속이 작기 때문에 부자의 속도는 유체의 평균유속보다 클 것으로 생각할 수 있다.

미국의 J. B Francis가 이점에 착안하였고, 1856년 Lowell 수로에서 표준 보와 봉부자에 의한 유량을 비교 측정하여 부자의 속도가 물의 유속보다 실제로 크다는 것을 알았다. 이를 기반으로 유속 또는 유량이 부자의 흡수에 관계있다는 것으로부터 그 유명한 Francis 공식을 유도하였다(김원 등, 2010).

$$Q = Q' [1 - 0.116(\sqrt{D} - 0.1)]$$

$$\text{또는 } C = 1 - 0.116(\sqrt{D} - 0.1)$$

여기서, Q: 보정유량, Q': 측정유량, C: 보정계수, D: 수심 흡수비/수심<sup>1)</sup>

이 실험에 사용한 부자는 지름 5.1cm 동관이었으며, 실험수로의 폭은 8.5m와 4.3m 두 가지를 활용하였다. 수심은 약 2.7m, 측정 길이는 21.4m, 점근 유효거리 8.6m 이다.

Parker는 자연수로에서 Francis 공식 중 상수 0.116을 대신해 0.2가 적당하고, 또한 주변의 조도가 커지면 이 값도 증가한다고 하였다. Brown은 수심 3.7m, 폭 3.7m의 수로에 있어 2.1m~2.4m의 흡수를 가지는 부자로 실험한 결과, 부자의 하단과 하상의 간격이 수심의 5% 이내의 경우에는 Francis 공식이 적당하지만, 그 이하의 경우에는 <표 1>과 같다고 보고하고 있다.

1900년 미국 Cornell 대학의 수리실험실에서 E. C. Murphy와 W. P. Boright가 시험한 봉부자와 표준 보에 의한 비교측정의 결과는 31회에 이르는 실측 중 부자에 의한 측정값이 작은 경우는 단 2회 뿐이었다. 그 외에는 모두 과대한 값을 나타내고, 그 비율은 부자의 잠수부분의 길이에 관계하는 외수로의 수심에도 영향이 있는 것을 확인하고 <표 2>과 같이 보고하였다.

1916년 일본 내무성 토목국 업무자료 「하천유량

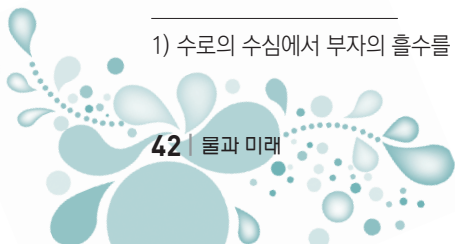
표 1. Brown의 실험에 대한 보정계수

수심흡수비/수심	10%	20%	30%	40%
보정계수	0.969	0.942	0.919	0.908

표 2. Murphy와 Boright의 보정계수

수로 평균수심(ft)	표준보 관측유량 / 평균 부자관측유량	
	부자흡수 : 75%	부자흡수 : 90%
9.3	0.989	1.003
8.3	0.955	0.973
7.5	0.962	0.980
6.3	0.960	0.971

1) 수로의 수심에서 부자의 흡수를 뺀 길이



측정 계산 수칙」에 수록된 Mononobe(物部)박사가 제안한 보정계수의 값은 <표 3>과 같다. 이 보정계수는 부자가 그 속도와 물의 속도의 차의 제곱에 비례하는 힘을 받아서 유하하는 것으로 상정하였으며, 연직유속분포는 Humphreys-Abott와 Bazin의 공식을 채용하여 계산하고 평균한 값이다. 또한 일본의 홍수유량 측정에 사용하는 대나무 부자는 원통이 아니고 회전 타원체라고 가정해 유도하였다.

1932년 일본의 Aki-Koichi(安藝皎一)는 Kozeng의 난류 계수를 도입한 운동 방정식을 풀어서 유속 분포 곡선식을 도출하고 부자가 흐름과 같은 운동을 하는 경우에 보정계수로서 다음 식을 제시하였다. 이 식의 형태는 최대 수심의 깊이(a)에 따라서 지배되지만 그 값을 0, 0.1, 0.2, 0.3으로 한 경우에 대

해서 식을 나타냈다.

여기서 C는 Chezy의 유속 계수, n은 흘수비(Z)와 수심(h)과의 비로 나타내는 부자가 물에 잠기는 깊이의 비, a는 최대유속의 깊이이다.

WMO(1994)는 부자의 측정유속으로부터 평균유속으로 변환할 때 보정계수를 적용하도록 하고 있다. 부자 보정계수는 연직 유속분포 형태와 부자가 잠긴 깊이(흘수)에 따라 결정되기 때문에 보정계수 적용을 위해 각 하천에서 세밀한 측정을 통해 결정하도록 하고 있다. 그러나 현실적으로 각 하천별로 보정계수를 결정하기 어렵고, 흐름 상황에 따라 달라질 수 있기 때문에 수심과 흘수의 비(R)을 이용하여 보정계수를 결정하도록 제시하고 있다.

$$\begin{aligned}
 a=0 \text{ 인 경우} & : \alpha = \frac{C}{C + \frac{20}{3} - \frac{20}{3}n^2} \\
 a=0.1 \text{ 인 경우} & : \alpha = \frac{C}{C + \frac{14}{3} + 2n - \frac{20}{3}n^2} \\
 a=0.2 \text{ 인 경우} & : \alpha = \frac{C}{C + \frac{8}{3} + 4n - \frac{20}{3}n^2} \\
 a=0.3 \text{ 인 경우} & : \alpha = \frac{C}{C + \frac{2}{3} + 6n - \frac{20}{3}n^2}
 \end{aligned}$$

표 3. Mononobe의 보정계수

부자흘수/수심	0.9	0.8	0.7	0.6
보정계수	1	0.97	0.95	0.94

표 4. WMO 부자 보정계수

R(흘수/수심)	0.1 이하	0.25	0.50	0.75	0.95
보정계수	0.86	0.88	0.90	0.94	0.98

### 3. 국내 실무에 활용한 부자 보정계수의 유도 과정

#### (1) 우리나라와 일본의 실무에서 활용하는 보정계수

일본과 우리나라는 홍수기에 급격하게 수위 또는 유량이 상승하고, 홍수시 유속이 매우 빠르며, 다량의 부유잡물을 포함하고 있어 유속계 등으로 유량을 측정하기 매우 어렵다. 이러한 이유로 홍수기에는 주로 부자법을 사용하고 있다. 부자는 수심 범위에 따라 표면, 0.5m, 1.0m, 2.0m, 4.0m 다섯 종류를 주로 사용하고 있으며, 부자별로 단일한 보정계수를 사용하도록 하고 <표 5>와 같이 제시하고 있다. 이와 같이 부자보정계수를 간단한 표로 제시한 것은 일본 건설성 「유량관측 규정」(1955) 및 「조사설계기준」(1959)에 제시한 것이 최초이며, 현재까지 그 값을 활용하고 있는 것이다.

그 이전에는 일본의 경우에도 부자의 보정계수에 대하여 통일된 기준이 존재하지는 않았다. 1955년도 「유량관측 규정」을 만드는데 있어 관계자들은 부자의 보정계수를 어떠한 형태든 통일된 기준으로 확실하게 만들고자 하였다. 당시에 부자법에 의한 홍수유량측정에 있어 다양한 문제를 인식하였으며, 이러한 한계에도 불구하고 실용상 과감한 가정 하에 계산을 진행할 수밖에 없다는 공통인식이 있었으며, 이에 따라 부자 보정계수의 간략화 과정이 진행되었다(竹内後雄, 江川太朗, 1963).

보정계수를 결정하는 방법을 간단하게 하기 위해서 여러 가지 방법(4개 안 정도)이 검토되었으나, 수위가 주어지면 보정계수가 일대일로 대응하여 결정

할 수 있는 방법이 가장 편리하다고 결론지었으며, 이를 간단한 표로 제시하면 계산의 편의성을 더욱 높일 수 있다고 생각했다.

부자보정계수를 구하는 과정을 간단하게 하기 위해 다음과 같은 원칙을 세워서 결정하였다.

- (1) 부자의 종류는 적게 한다.
- (2) 부자의 흘수심은 끝수가 없도록 한다.
- (3) 부자의 흘수비는 거의 0.8~0.4의 범위로 한다.

#### (2) 부자의 종류 결정

부자의 종류로서는 다섯 종류로 좁혔다. 종류를 적게 해 두면 재료의 준비 및 작업이 편하기 때문이다. 부자가 물에 잠기는 깊이는 표면 부자의 경우는 0.15m 혹은 0.25m라고 생각하였으며, 봉부자는 0.5m부터 취하고, 그 다음으로는 수심에 따라 잠기는 깊이를 배로 증가시키는 방식으로 1m, 2m, 4m

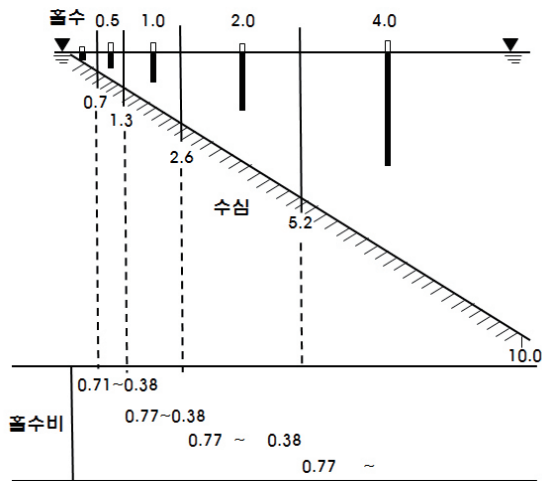


그림 1. 부자흘수와 흘수비

표 5. 우리나라와 일본에서 실무에 활용하는 부자 보정계수

수심	0.7m 이하	0.7~1.3m	1.3~2.6m	2.6~5.2m	5.2m 이상
부자흘수	표면부자	0.5m	1.0m	2.0m	4.0m
보정계수	0.85	0.88	0.91	0.94	0.96

로 정했다. 봉부자의 물에 잠기는 깊이의 비례의 범위를 0.8~0.4로 고려하면, 위에서 언급한 다섯 종류의 부자로 수심의 범위를 0.7m로부터 10m정도 까지를 <그림 1>에 나타난 것 같이 다섯 단계로 거의 감당할 수 있는 것이 확인된다.

### (3) 유속분포식의 채택

수심에 대해서 봉부자의 흘수비를 구할 수 있고, 수심에 따라 보정계수가 계산되는 셈이지만 수심을 5단계로 나누었기 때문에 보정계수는 각 단계 중에서 수심을 잘게 분화해서 구한 값의 평균치를 구하고 그것으로 그 구간을 대표시킨다는 방식을 취하는 것으로 했다.

부자의 운동에 대해서는 Mononobe식과 Aki식이 그 대표적인 것이다. 이 두 가지 식을 비교해보고, Aki식이 보다 새로운 것이어서 여러 가지 요소가 고

려되어 있기 때문에 부자 보정계수를 계산하는 과정에는 Aki식을 채택하였다.

## 4. 대표 보정계수 계산과정

보정계수  $\alpha$ 를 구한 Aki식(3절)에는 계수로서  $a$ ,  $C$ ,  $n$ , 세 가지가 포함되어 있다. 이것들의 값을 결정하는 과정은 다음과 같다.

### (1) $a$ 의 값

Aki식에서  $a$ 값을 선택하는 방법에 있어서 하천 폭  $b$ 의 관계는 <표 6>에 나타났다. <표 6>에서 볼 수 있는 것처럼 수심( $h$ )이  $a$ 값과 하천 폭  $b$ 값과 관계되기 때문에  $a$ 를 하천 폭 및 수심의 관계로 고쳐 쓰면 <표 7>과 같다. 부자법을 시행하는 대부분의 하천은 하천 폭이 100m 이상인 곳이 많기 때문에

표 6. Aki식에서 제시된  $a$ 값과 하천 폭, 수심과의 관계

$b(m)$ \ $a(m)$	0	0.1	0.2	0.3
20	$h < 0.6$	$0.6 < h < 1.1$	$1.1 < h < 1.6$	$1.6 < h$
60	$h < 1.1$	$1.1 < h < 1.6$	$1.6 < h < 2.2$	$2.2 < h$
100	$h < 1.5$	$1.5 < h < 2.0$	$2.0 < h < 2.6$	$2.6 < h$

표 7. Aki식에서 제시된 수심에 따른  $a$ 값의 범위

$b(m)$ \ $h(m)$	~1	1~2	2~4	4~6	6~8	8~10	10~
20	0~0.1	0.1~0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
60	0	0~0.2	0.2~0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
100	0	0~0.1	0.2~0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

표 8. Aki식에서 제시된 수심별  $a$ 값(100m 이상으로 가정)

$h$	~1	1~2	2~4	4~6	6~8	8~10	10~
$a$	0	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3

$b = 100m$  라고 가정하면,  $a$ 의 값은 <표 8>에 나타난 것과 같이 수심의 관계로 나타낼 수 있다.

(2)  $C$ 의 값

Chezy 식의  $C$ 와 Manning의  $n_1$ 과의 사이는 다음과 같은 관계가 있다.

$$C = \frac{1}{n_1} R^{1/6}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

여기서,  $R$ 은 동수반경이다. 일반 하천에서  $n_1$ 은 0.025~0.040의 값을 취한다고 가정하고 다양한 동수반경에 대해서  $n_1$ 을 0.005 간격으로 취해서  $C$ 의

값을 계산하면 <표 9>와 같은 값을 얻을 수 있다. 가장 우측 열은 동수반경에 대한  $n_1$ 의 평균값을 나타낸 것이다. <표 9>의 평균값에서 소수점 이하를 절사하고, 수심 구간별 평균에 대한  $C$ 의 값을 구하면 <표 10>과 같다.

(3) 보정계수( $\alpha$ )

부자 5종류에 대해서 수심의 범위를 <그림 1>과 같이 선택하고,  $a$ ,  $C$ 값은 각각 <표 8>, <표 10>에 나타난 값을 사용하여 보정계수를 구한다. 각 적용 수심 범위에 대해서 수심 간격 0.1m 마다 보정계수를 계산하면 <표 11>과 같이 된다. 다만 표면부자는 부자가 물에 잠기는 깊이 0.15m 및 0.25m에 대해서 보정계수를 구했다. 그리고 4m 부자에서는 보정

표 9. 조도계수와 동수반경에 따른  $C$ 의 값

$R(m) \backslash n$	0.025	0.030	0.035	0.040	평균
0.5	35.6	29.7	25.4	22.3	29.5
1.0	40.0	33.3	28.6	25.0	31.7
1.5	42.8	35.6	30.6	26.8	33.9
2.0	44.8	37.3	32.0	23.0	35.5
3.0	48.4	40.1	34.6	30.2	38.3
4.0	50.4	42.0	36.0	31.5	39.9
5.0	52.3	43.6	37.4	32.7	41.5
6.0	54.0	44.9	38.5	33.7	42.7
7.0	55.3	46.1	39.5	34.6	43.8
8.0	56.6	47.1	40.4	35.4	44.8
9.0	57.7	48.0	41.2	36.1	45.7
10.0	58.6	48.9	41.9	36.7	46.5
12.0	60.5	50.4	43.2	37.8	47.9

표 10. 수심에 따른 평균  $C$ 의 값

$h$	~1	1~2	2~4	4~6	6~8	8~10	10~
$C$	30	34	38	41	44	46	48

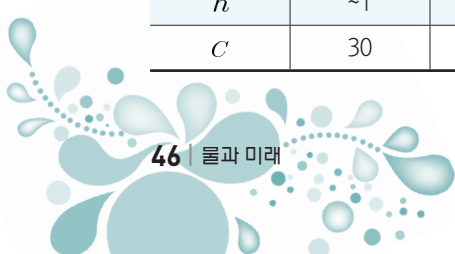


표 11. 부자별  $a$ ,  $C$ 값에 따른 부자 보정계수

No	부자의 종류	흘수심 (m)	$a$	$C$	흘수비	보정 계수	No	부자의 종류	흘수심 (m)	$a$	$C$	흘수비	보정 계수
1	표면 (0.15m)	0.15	0	30	0.55	0.91	4	2.0m	2.00	0.2	38	0.71	0.94
			0	30	0.50	0.86				0.2	38	0.69	0.94
			0	30	0.38	0.84				0.2	38	0.67	0.94
			0	30	0.30	0.83				0.2	38	0.65	0.93
			0	30	0.25	0.83				0.2	38	0.63	0.93
			0	30	0.22	0.82				0.2	38	0.61	0.93
1	표면 (0.25m)	0.25	0	30	0.62	0.87				0.2	38	0.59	0.93
			0	30	0.50	0.85				0.2	38	0.57	0.93
			0	30	0.42	0.84				0.2	38	0.56	0.93
			0	30	0.36	0.83				0.2	38	0.54	0.93
2	0.5m	0.50	0	30	0.71	0.90				0.2	38	0.53	0.93
			0	30	0.62	0.88				0.2	38	0.51	0.93
			0	30	0.56	0.87				0.2	38	0.50	0.93
			0	30	0.50	0.86				0.3	41	0.49	0.95
			0.1	34	0.54	0.89				0.3	41	0.48	0.95
			0.1	34	0.42	0.89				0.3	41	0.47	0.95
			0.1	34	0.38	0.88				0.3	41	0.45	0.95
3	1.0m	1.00	0.1	34	0.77	0.94				0.3	41	0.44	0.95
			0.1	34	0.71	0.92		0.3	41	0.43	0.95		
			0.1	34	0.67	0.92		0.3	41	0.43	0.95		
			0.1	34	0.63	0.91		0.3	41	0.42	0.95		
			0.1	34	0.59	0.90		0.3	41	0.41	0.95		
			0.1	34	0.56	0.90		0.3	41	0.40	0.95		
			0.1	34	0.53	0.90		0.3	41	0.39	0.95		
			0.1	34	0.50	0.89		0.3	41	0.38	0.95		
			0.2	38	0.48	0.92	5	4m	4.00	0.3	41	0.77	0.97
			0.2	38	0.45	0.92				0.3	41	0.67	0.96
	0.2	38	0.43	0.92		0.3			44	0.57	0.96		
	0.2	38	0.42	0.92		0.3			44	0.50	0.96		
	0.2	38	0.40	0.92		0.3			46	0.44	0.96		
	0.2	38	0.38	0.92		0.3			46	0.40	0.96		
4	2.0m	2.00	0.2	38	0.77	0.95				0.3	48	0.36	0.95
			0.2	38	0.74	0.94				0.3	48	0.33	0.95



표 12. 부자별 부자 보정계수의 평균값

부자의 종류	보정계수			
	구간최대	구간최소	구간최대최소 평균	전평균
표면부자(1)	0.91	0.82	0.865	0.85
표면부자(2)	(0.87)	(0.83)	(0.85)	(0.85)
0.5m 부자	0.9	0.86	0.88	0.88
1.0m 부자	0.94	0.89	0.915	0.91
2.0m 부자	0.95	0.93	0.94	0.94
4.0m 부자	0.97	0.95	0.96	0.96

표 13. 부자 보정계수 산정 결과

적용수심(m)	~0.7	0.7 ~ 1.3	1.3 ~ 2.6	2.6 ~ 5.2	5.2~
부자의 종류	표면부자	0.5m	1.0m	2.0m	4.0m
보정계수	0.85	0.88	0.91	0.94	0.96

계수의 차이가 적기 때문에 수심 간격을 1m로 정하여 12m까지 계산했다. <표 11>의 각 구간 수심에 대해서 보정계수의 최대, 최소, 최대최소평균, 전평균을 계산하여 <표 12>에 나타난 것과 같이 값을 얻을 수 있었다. 최종적으로 적용수심, 부자의 종류, 보정계수의 관계를 <표 12>와 같이 결정하였다.

### 5. 마무리 하며

우리나라와 일본은 홍수기 유량측정에 부자법을 주로 사용하고 있으며, 부자법에 의한 유량계산에서 중요한 요소인 부자 보정계수는 간단한 표의 형태로 제시된 값을 채택하여 활용하고 있다. 이 부자 보정계수의 근거는 일본 건설성 「유량관측 규정」(1955) 및 「조사설계기준」(1959)에 제시한 것이라는 것을

확인하였다. 당시 간략화의 문제의식은 크게 두 가지이다. 하나는 그 이전에 통일되어 있지 않은 부자 보정계수 산정방법을 표준화하여 통일하는 것이고, 두 번째는 계산 기술이 발달하지 않은 당시의 상황에서 계산의 편의성을 도모하기 위한 것이다.

앞 절에서 설명한 것처럼 보정계수를 간단한 표의 형태로 제시하기 위해 유속분포는 Aki 공식을 채용하였으며, 보정계수는 하천 폭, 조도계수, 유속분포의 구간 분할 및 평균 과정 등 매우 다양한 형태의 과감한 가정을 통하여 도출한 값이다. 현재 유속분포 공식은 더 정교해졌으며, 계산 기술은 매우 발달하였다. 또한 다양한 정보통신 기기를 통해 현장에서 직접 계산이 가능한 상황임을 고려할 때 1950년대에 간략화의 과정을 통해 도출된 현재의 부자 보정계수는 재검토해 볼 필요가 있다.



**참고문헌**

김원 등(2010). 1940년대 일본의 유량측정기술, 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단  
 竹内後雄, 江川太朗(1963). 浮子の更正係數, 土木技術資料  
 WMO(1994). Guide to Hydrological Practices.