축소단면흐름 형상항력계수

Form Drag Factor of Contracted Flow

권 순 국* · 유 동 훈**
Kwun, Soon Kuk · Yoo, Dong Hoon

Summary

The efforts of formulation have been reviewed and the results of existing laboratory experiments are investigated in order to describe the contracted flow which occurs at the final closure of sea dike construction. The regional characteristics of contracted flow is analyzed by checking the drawdown curve, and Chezy's mean velocity equation is employed to estimate the discharge rate at the closure. Weir-type discharge equations are reviewed, which are derived from Bernoulli equation, and the problems of the equations are discussed. Chezy's mean velocity equation is considered to be widely and generally applicable, and the empirical factor introduced in Chezy's equation is named 'form drag factor' since it is primarily dependent on the form drag caused by the contraction of discharge area. Laboratory experiments were conducted mainly in order to investigate the variation of form drag factor against various parameters, and an empirical equation is developed for the estimation of form drag factor.

I. 서 론

방조제 끝막이 구간에 있어서 축소 단면내의 흐름은 매우 복잡한 특성을 가지고 있다. Kindsvater 등 (1953)은 수조 실험결과로부터 몇 가지 주요 인자를 도출하여 이들의 변이특성을 분석하였다. 이들 인자들의 수식화는 각 단면의 유속이나 마찰력 산정에 주요한 요인으로 판단되기 때문에 본 연구에서 이들에 대한 산정식을 개발하였으며, 축소단면 흐름의 부분적인 특징을 분석하였다.

끝막이 구간에서의 유량 산정은 아직 매우 부정확한 방법에 의하여 산정하고 있다. 도입하여 사용되고 있는 대부분의 산정식들이 실제 끝막이시의 상황과 상당히 여건이 다른 수리 특성에 대하여 개발된 것들이며 이들 산정식에 대한 검증은 충분히 이루어지지 않았던 것으로 판단된다. 그 하나의 예로서 윤 등 (1994)은 물막이 구간의 축소단면 흐름을 수치모형으로 해석할 때 수중웨어 유출량을 산

* 서울대학교 농업생명과학대학
** 아주대학교 공과대학

키워드 : 축소단면흐름, 형상항력 계수,
방조제 끝막이 구간 흐름

정하는데 이용하는 Homma 식을 사용하였는데, Homma 식은 방조제 폭의 장단에 따른 영향이 전혀 나타나지 않기 때문에 일반성이 상실된 산정식으로 판단되며, 제안된 경험상수에 대한 특징도 분명히 밝혀지지 않았다. 그밖에 Kindsvater 등(1953)이 Bernoulli 식으로부터 유도하여 제시한 공식도 방조제 폭의 장단에 따른 영향이 포함되어 있지 않고 표면 마찰력과 형상 항력에 대한 분리가 뚜렷이 제시되지 않아 유량계수 산정이 불명확한 것으로 판단된다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 이론적인 연구와 함께 물막이 구간 흐름의 특징을 명확히 밝히고 수조실험을 실시하여 이론에 의하여 유도된 경험계수의 변이를 밝히고자 하며, 제시된 산정식을 수치모형에 적절히 사용하는 기법을 제시하고자 한다.

Ⅱ. 물막이 구간 수리특성 및 기존 유출량 산정식

국내 방조제 축조공사에서 끝막이 공사방법은 방조제 양끝 단으로부터 대형 사석이나 돌망태를 투하하는 점축공법을 주로 사용하고 있다. 끝막이 직전에 물막이 구간 해저면의 세굴을 방지할 목적으로 상고에 의한 바닥면 보강을 실시하나 방조제의 일반적인 상고높이는 1-2m 정도이므로 수중 웨어형상으로 보기는 어려우며, 단지 단면 급축소에 의한 급변류로 판단하는 것이 옳을 것이다. 단면 급축소에 의하여 수위는 급격히 강하하고 이에 따라 동수경사가 매우 급하여 상당히 강한 유속이 발달한다. Kindsvater 등(1953)의 관측에 의하면 축소단면 유입부에서 가장 강한 유속은 Fig.1에 도시된 바와 같이 방조제 끝단 근처에서 발달하며, 다음으로 강한 유속은 중앙에 위치한다. 방조제 끝단은 방조제 사석에 의한 표면마찰력이 매우 클 것으로 예상되는데도 불구하고 가장 강한 유속이 발달하는 이유는 전 폭에 걸쳐 동수경사가 가장 크기 때문인 것으로 판단된다. 즉, 수류가 축소단면을 빠져나가기 전에 고수위는 반원형 둘레에 따라 일정한 반면에, 축소단면에서의 저수위는 전 폭에 걸쳐 거의 일정하다. 따라서 동일한 수두 차에서 축소단면 중앙에서 이동거리가 가장 길고 방조제 끝단에서 이동거리가 가장 짧으며, 따라서 이 단면에서 동수경사가 가장 크게 나타난다.

축소단면을 통과한 수류는 협로를 빠져 나오자마자 거의 무한대의 확대구간에 이르며, 이 확대구간에서 방조제 배후로 역류가 발생하고 와류가 형성되어 상당한 에너지 손실을 발생시킨다. 이렇게 형성되는 와류에 의한 에너지 손실은 형상 항력(form drag)으로 나타나며, 이는 관로 흐름에서 단면 급축소에 의한 손실과 유사하다. 이때 유속이 강하고 사석이 크기 때문에 표면마찰력에 의한 손실도 무시할 수 없을 정도의 크기가 될 것으로 예상되나 형상 항력에 비하여는 상당히 작을 것으로 생각되며, 실험관측 결과에서 이 두 요인을 따로 분리하여 계산한다는 것은 용이치 않을 것이다. 따라서 협수로에서의 표면 마찰력(skin friction)에 대하여는 독립적인 실험을 실시하여 별개로 실험자료를 분석하여야 될 것이다. 본 연구에서는 축소단면에 의한 형상항력 현상을 분석하기 위하여 협수로 마

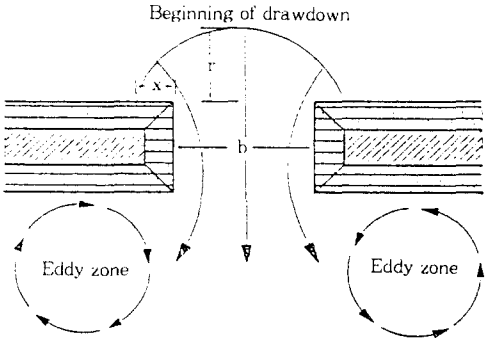


Fig. 1. Flow pattern at contracted section

찰흐름에 대한 수조실험을 따로 독립적으로 시행하였다.

Kindsvater 등에 의하면 동일 고수위를 가진 동심원의 반경 r과 방조제 측면의 여유거리 x는 방조제 개방구간 폭 b에 대한 비로 나타냈을 때 수축단면 축소율 m과 상관관계가 성립함을 알았다. 이들의 관계는 Fig. 2.에 제시된 바와 같으며, 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$r/b=0.3Inm+1.01 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

$$x/b=\exp(7.1m-5.93) \quad m<0.4 \quad (2a)$$

$$x/b=0.756m-0.265 \quad 0.4<m \quad \cdots (2b)$$

여기서 m은 물막이 구간 축소율이며 다음과 같이 정의된다.

$$m=\frac{B-b}{B} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

B는 전체 방조제 길이, b는 개방구간 폭이다.

이들 관계로부터 방조제 끝단 측면에서의 동수경사는 중앙에서의 동수경사의 두 배 가량이 됨을 알 수 있다. 따라서 마찰계수가 동일하다고 가정하면 방조제 끝단에서의 유속은 중앙에서의 유속의 약 1.4배이며, 방조제 끝단에서의 마찰계수가 훨씬 크다고 가정하여도 방조제 끝단에서의 유속은 중앙 유속 보다 20 % 가량 클 것으로 판단된다. 이러한 관계는 사석의 유실문제 해석에 참고가 될 것이다. 각 단면의 수심평균유속이나 마찰력의 보다 정량적인 해석은 각 단면의 사석 크기와 배치 상태에 따라 달라진다.

Kindsvater 등 (1953)은 하천흐름 유출량의 산정에 있어 단면축소에 의한 영향을 나타내는 산정식을 개발코자 수조실험을 수행하였으며, 축소단면 전후 두 지점간에 Bernoulli 법칙을 적용하였을 때 도출되는 유량계수의 변이를 다각도로 분석하고 제 인자간의 관계식을 제시하였다. 본 연구에서도 1차로 이들의 산정식에 기초하여 이번 실험에서 취득한 관측자료를 분석하였으나, 이후 이들 산정식의 모순점을 발견하고 새로운 산정을 제시하였다. 그러나 Kindsvater 등의 일부 연구결과와 상관식들이 본 연구에서 개발된 산정식의 도출에 참조되었으며, 그들의 산정식이 Homma의 웨어 산정식과 유사하므로 그들의 수식 유도과정을 점검할 필요성이 있다고 생각한다. Kindsvater 의 수식 유도과정은 다음과 같다.

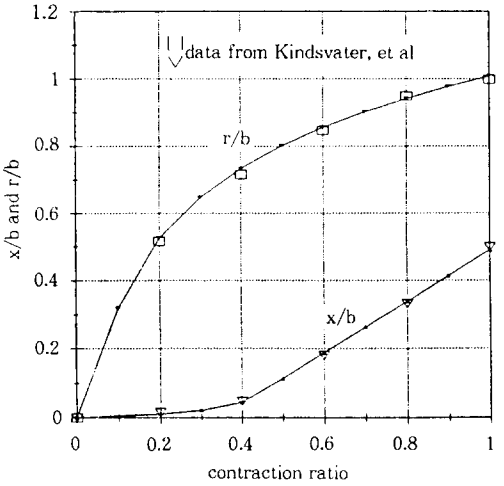


Fig. 2. r/b and x/b against contraction ratio

축소단면 중앙의 한 점을 3으로 나타내고 이로부터 상류의 수위가 일정해지는 초기의 한 점을 1로 나타냈을 때 두 점간에 다음과 같은 Bernoulli의 법칙이 성립한다.

$$\alpha_1\frac{V_1^2}{2g}+z_1=\alpha_3\frac{V_3^2}{2g}+z_3+h_f \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

여기서 V_1은 1번 단면에서의 평균유속, V_3는 3번 단면에서의 평균유속, z_1은 1번 단면의 표면수위, z_3는 3번 단면의 표면수위, h_f는

손실수두, α는 유속의 2차 적분비 또는 에너지보정계수이다. 상기 관계식으로부터 다음과 같은 유량산정식을 구하였다.

$$Q=C_d A_3\sqrt{2g(\alpha_1\frac{V_1^2}{2g}+\Delta h-h_f)} \quad \cdots\cdots (5)$$

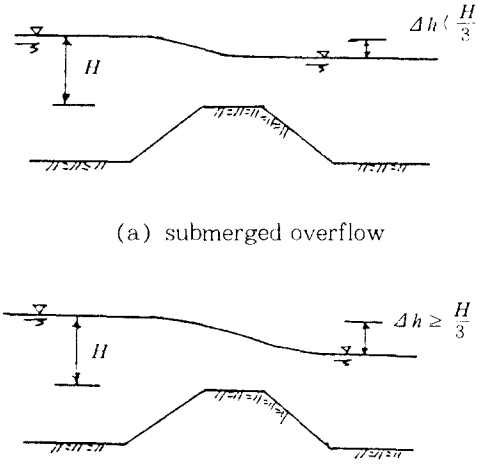
여기서 Q는 유량 유출률, h는 수위차 (z_1-z_3), A_3는 물막이 축소단면의 면적, C_d는 유량 계수이다.

식 (5)는 오리피스 식과 유사한 형태이며 수위차 대신에 압력차를 대입하면 거의 동일한 유량산정식이 된다. 그러나 식 (5)의 사용에 있어서는 수위가 일정해지는 점 1의 선택이 불확실하고, Bernoulli 식이 유선 상에서만 성립하기 때문에 단면 1과 단면 3의 범위에 대한 결정이 불명확하며, 손실수두가 표면마찰에 의한 성분만 나타내는지 형상항력에 의한 성분을 포함하는지 애매하다. Kindsvater 등은 손실수두를 마찰계수와 같은 경험계수도 도입치 않고 유속의 제곱으로 간단히 산정하였는데 이것 또한 상당히 의문 나는 부분이다. 더욱이 Bernoulli 방정식은 유선(streamline)상에만 적용할 수 있는데 축소단면 개수로 흐름에서와 같이 와류가 심하게 발생하는 경우에 에너지 보정계수의 도입만으로 유선의 수축 확산을 적절히 표현할 수 있을는지도 의문이다. 또한 실제 식 (5)를 수치모형에 적용하여 유량을 산정할 시 수위가 일정해지는 점 1의 거리를 산정하고 축소단면 점 3과 점 1 간의 수위차를 내삽법 또는 외삽법으로 구한 후 유량 또는 유속을 수치모형의 기본 형식과 별개로 독립적으로 산정하여야 되는 번거로움이 있다. 이러한 이유들 때문에 식 (5)의 사용은 별로 바람직하지 못하다.

Homma는 축소단면의 제방 단면 폭이 작을 경우 이를 사다리꼴 단면의 수중웨어로 판단하고 다음과 같은 유량산정식을 제시하였다.

$$Q=C_d A_3\sqrt{2g\Delta h} \quad \cdots\cdots (6)$$

Fig.3에 도시된 바와 같이 수위차의 3배가 상류수심보다 작을 때, 즉 $3\Delta h<H$ 일 때 불완전 월류로 판단하였으며, 수위차의 3배가 상류수심보다 클 때, 즉 $H<3\Delta h$ 일 때 완전월류라고 판단하였다. 불완전 월류시 축소단면 전후 수위는 일정하게 되어 수위차 $\Delta h=z_1-z_3$이며 완전월류시 수중웨어 상부의 수심은 2H/3 보다 작다. 상기 Homma 식은 식 (5)와 유사하며 접근유속을 무시하였고 손실수두의 영향을 유량계수 C_d에 포함한 형태이다. Homma는 유량계수의 수치로서 약 0.9를 제안하였다.



(a) submerged overflow

(b) free over flow

Fig. 3. Overflow at broad crest weir

상기 Homma 식도 앞에서 논의한 바와 같은 이유로 수치모형 적용에 합당치 않다고 판단되며, 더욱이 끝막이 시 바닥면 보강으로 시행하는 상고높이가 웨어로 판단하기 어려울 정도로 낮고 0.9로 고정한 유량계수 수치도 상당한 변이를 보일 것으로 판단된다.

이상의 논의로 축소단면에서의 유량산정을

위한 기존식들은 상당한 결함이 있는 것으로 판단되며, 다음과 같은 Chezy식을 사용할 것을 제안한다.

$$V=\sqrt{\frac{g}{C_f}Ri}=\frac{Q}{A} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (7)$$

여기서 V는 축소단면 내의 평균유속, R은 동수반경이며, i는 동수경사이고, C_f는 마찰계수로서 축소단면 흐름에서는 표면마찰과 형상항력을 모두 반영하는 계수이다. 보통 축소단면 흐름에서 유속이 매우 강하여 방조제 배후로 큰 규모의 와류가 형성될 때 표면마찰로 인한 손실은 형상저항으로 인한 손실보다 훨씬 작을 것으로 판단되며, 축소단면 흐름의 평균유속을 산정하는 식 (7)에서 C_f는 형상항력계수라 하여야 마땅할 것이다. 다음 Ⅲ장에서 논의되는 수조실험자료 분석에서는 주로 식 (7)에 사용하는 형상항력계수 C_f의 산정식 개발에 주안점을 두었다.

Ⅲ. 물막이 구간 수리모형 실험 및 분석결과

끝막이 구간 수리모형에 관한 실험은 1994년도 6월부터 9월까지 안산시에 소재하는 농어촌진흥공사 농공기술연구소 수리실험장에서 본연구진이 농공기술연구소 연구진과 함께 실시하였으며, 자료분석과 해석에 1993년도 농공기술연구소 연구진이 수행한 실험자료를 참조하였다. 본 연구에 이용된 수리실험장치의 조감도는 Fig.4 에 제시된 바와 같으며, 폭 5.0m, 길이 20여 m, 높이 1m 의 광폭수로이다. 이 수로의 중앙에 상부폭 10cm, 높이 30cm 의 단면을 벽돌과 콘크리트를 이용하여 불투수층으로 차단하여 축소단면을 만들었는데 불투수층의 길이는 전체 구간 폭의 58%, 즉 2.9m이며 불투수 단면의 사면 기울기는 1:1.2 이다. 각 구간 1m마다 유속계와 수위계를 시험수조 벽에 설치되어 있는 레일에 고정하여 유속과 수위를 측정하였으며, 물막이 구간 선단 부근의 유속과 수위는 따로 정밀 측정하였다. 사석은 크기별로 5개의 집성체를 투하하였으며, 축소단면의 바닥면은 사석을 깔아 상고보강에 따른 조고의 증가를 고려하였다.

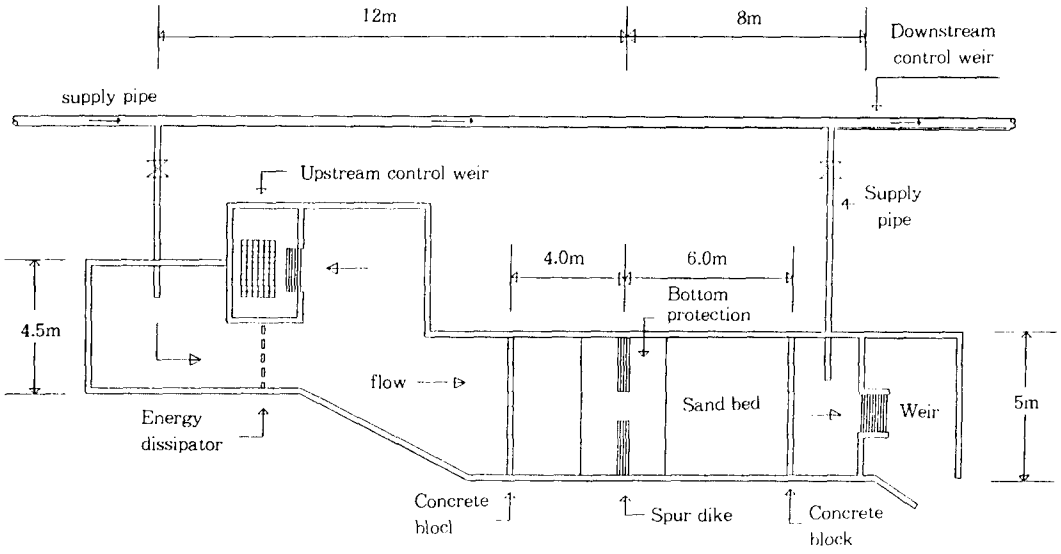


Fig. 4. Plan view of hydraulic basin for the laboratory study of contracted flow

상기 조건에서 먼저 물을 양수한 후, 상하의 수위를 관측하고 개방폭 58% 부터 사석을 투하하여 개방구간 폭을 줄여가면서 실험을 수행하였다. 축소구간 상류 2m 지점부터 하류 3m 아래까지 1m 간격으로 각 단면 중간 지점을 중심으로 3개 지점에서 유속과 수위를 측정하였으며, 첨단 부근에서의 수위와 유속을 따로 측정하여 첨단 부근에서의 수리특성을 정밀 조사하였다. 본 연구에서는 농진공 농공기술연구소가 1993년에 실시한 실험 자료도 관계식 도출에 이용하였는데 그 당시는 유속과 사석의 유실률에 중점을 두어 실험을 실시한 것이 특징이였다. 이 실험에서 길이방향으로 1m마다 유속을 측정함은 물론, 각 단면마다 전 폭에 걸쳐 7개소에서 유속이 측정되었다. 따라서 평균유속 또는 유량을 정확히 산정할 수 있었다. 이때도 첨단 부근에서의 유속과 수위를 따로 측정하여 첨단 부근에서의 수리 특성을 정밀 분석하였다.

실험자료로부터 형상항력계수를 산출할 때 2가지 방법으로 구하였다. 하나는 유량자료를 이용하는 방법이고 다른 하나는 유속으로부터 산출하는 방법이다. 이렇게 두 가지 방법을 채택한 이유는 관측자료의 결함 때문인데 1993년도 관측에서는 유량을 어느 정도 정확히 산출할 수 있었으나 1994년도 실험에서는 유량산출이 곤란하여 축소단면 중앙에서 관측된 유속을 단면평균유속으로 가정하였기 때문이다. 한편 축소단면 중앙에서의 유속은 방조제 끝단에서의 유속보다는 작고 인근에서의 유속보다는 크기 때문에 평균유속으로 가정하여도 큰 오차를 유발하지는 않을 것으로 판단된다. 유량으로부터 형상항력계수를 산출할 때 식 (7)로부터 다음 식이 유도된다.

$$C_f=\frac{A^3 g i}{Q^2 P} \quad \cdots\cdots (8)$$

여기서 A는 축소단면 면적이고, P는 축소단면 윤변이다.

또한 단면 평균유속이 주어질 때 식 (7)로부터

$$C_f=\frac{gAi}{V^2 P} \quad \cdots\cdots (9)$$

상기식 (8) 또는 (9)에서 동수경사 i는 다음과 같다.

$$i=\frac{\Delta h}{\Delta L}=\frac{h_1-h_3}{L_{1-3}} \quad \cdots\cdots (10)$$

동수반경 R과 단면적 A는 축소단면에서의 수치이고, 각 물막이 구간의 형태마다 다르며, 축소단면의 사다리꼴 형태를 고려하여 수심으로부터 산출하였다.

Kindsvater 등의 연구결과에 의하면 유량계수는 단면축소율 m과 물막이 구간폭 L에 대한 방조제 개방구간 폭 b의 비 (L/b)에 대한 함수인 것으로 밝혀졌다. 즉,

$$C_d=f(m, \frac{L}{b}) \quad \cdots\cdots (11)$$

Kindsvater 산정식의 문제점에도 불구하고 그들의 관측자료 결과를 이용할 목적으로 Kindsvater 식 (5)에 사용된 유출계수 C_d와 Chezy 식 (7)에 사용된 형상항력계수 C_f 와의 관계식을 유도할 필요가 있다. 이들의 상관식은 다음과 같다. 즉, 식 (5)와 식(7)로부터 다음 관계식을 구할 수 있다.

$$C_d\sqrt{2g(\alpha_1\frac{V_1^2}{2g}+\Delta h-h_f)}=\sqrt{\frac{g}{C_f H i}} \quad \cdots (12)$$

여기서 V_1은 물막이구간 유속에 비하여 상당히 작으므로, 이를 무시하고 식 (5)에 포함된 손실수두의 영향도 유출계수 C_d에 포함되어 있다고 가정하여 상기식 (12)를 전개하면,

$$C_d^2 2g\Delta h=\frac{g}{C_f}Hi=\frac{gA\Delta h}{C_f P\Delta L} \quad \cdots\cdots (13)$$

즉,

$$C_f=\frac{A}{2P\Delta L}\frac{1}{C_d^2} \quad \cdots\cdots (14)$$

이 성립한다. 상기식 (14)에서 유량계수를 제외한 모든 항은 제한된 실험조건에서 일정하다고 가정하여,

$$C_f=\frac{\alpha}{C_d^2} \quad \cdots\cdots (15)$$

즉 계수 α가 일정할 때 형상저항계수 C_f는 유출계수 C_d의 제곱에 역비례함을 알 수 있다.

Kindsvater 등은 수축단면 실험연구에서 유출계수 C_d의 영향인자로서 단면폭 대 물막이 개방구간 폭의 비 L/b와 물막이 구간 축소율 m이 가장 중요한 요인인 것으로 밝혔으며, 실험자료 분석결과로부터 Fig. 5를 제시하였다. 방조제와 같이 광활한 해역에서 행하는 물막이는 문제가 되는 끝막이 공사에서 축소율이 적어도 80% 이상은 넘을 것으로 판단되어, 수조실험도 축소율 80%와 90%에 대하여만 실시하였다. 또한 Kindsvater 등의 연구결과를 이용할 목적으로 Fig.5에 제시된 최종연구결과를 수식화하는데 있어서도 축소율이 작은 경우는 무시하였으며, 축소율 40% 이상일 때 유출계수 C_d는 다음 식으로 산정될 수 있다.

$$C_d=\exp[0.967m^{-0.097}+0.184(L/b)-1.364] \quad \cdots\cdots (16)$$

상기 식으로 산정된 유출계수 C_d의 분포곡선은 Fig. 6에 제시되어 있으며, Kindsvater의 실험결과인 Fig. 5 와 비교하였을 때 유사함을 알 수 있다.

형상항력계수의 변이에 대한 영향인자로서 단면 폭에 대한 비 L/b를 고려하여 2개 년도 모두의 관측자료를 검토하였다. Fig.7.은 L/b에 대한 C_f의 분포를 도시한 것인데 L/b가 증가함에 따라 항력계수 C_f가 뚜렷하게 감소

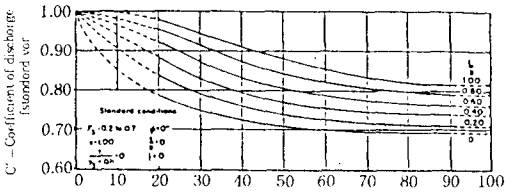


Fig. 5. Diagram of discharge coefficient distribution(observation result from Kindsvater et al.)

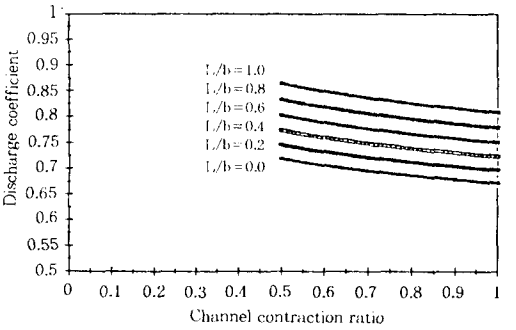


Fig. 6. Distribution of discharge coefficient computed by approximation equation

함을 알 수 있으며, 이는 Kindsvater 등의 연구결과와 일치하는 현상이다. 즉, 방조제 단면폭이 증대함에 따라 방조제 선단과의 표면마찰력은 증대하지만 수류가 협수로내에 잘 제어되어 방조제 배후지로의 와류형성이 약화되는 것으로 판단된다. 이상의 관측결과 L/b에 대한 C_f의 분포를 수식화하면 다음과 같다.

$$C_f=\exp[-2.25(L/b)^{0.655}-0.511] \quad \cdots (17)$$

상기식 (17)과 대비하기 위하여 Kindsvater의 관측결과로부터 유도된 유출계수 산정식 (16)을 이용하여 식 (15)의 형태로 나타내면 계수 α는 0.1 정도의 값을 갖는다. 따라서 항력계수는

$$C_f=0.1/\exp^2[0.967m^{-0.097}+0.184(L/b)-1.364] \quad \cdots\cdots (18)$$

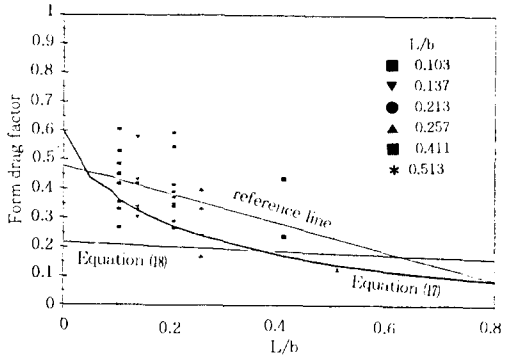


Fig. 7. Distribution of form drag factor against L/*b*

로 산정된다. 축소율 $m=0.9$로 가정하여 식 (17)로 산정된 항력계수와 식 (18)로 산정된 항력계수의 분포가 Fig. 7에 도시되어 있다. L/*b*가 커짐에 따라 항력계수가 점차로 작아지는데 이는 축소단면 방조제 폭의 길이 L이 흐름을 보다 정류 제어하는 역할을 하기 때문인 것으로 파악된다. 따라서 일반적으로 항력은 유속의 제곱에 비례하고 방조제 폭이 일정할 때 축소 개방구간이 작아질수록 유속은 선형적으로 비례하여 증가하나 반면에 항력계수는 점차로 작아져 항력이 유속의 제곱으로 단순 비례하여 증가하지는 않을 것임을 추정할 수 있다.

Ⅳ. 결론 및 토의

축소단면을 통과하는 수류의 흐름특성을 정량적으로 파악하기 위하여 이상의 이론검토 및 실험연구결과로 관련변수의 기초식을 개발하였다. 축소단면 흐름형상을 결정하여 주는 수위하강 반원의 반경과 측면 시작점의 위치 결정은 각 단면의 평균유속과 마찰력을 산정하는데 주요 지침이 될 것이며, 특히 축소단면의 형상항력계수 산정식 개발은 거의 모든 형태의 수치모형에 쉽게 이용될 수 있으므로 일반성의 확보뿐 아니라 이용성의 증진도 성과 중의 하나이다. 본 연구에서 개발된 산정식은 이미 조석-조류에 관한 유한요소수치모형에 적용하여 방조제 건설시의 조류해석을 성공적으로 수행한 바 있다 (농림수산부, 농어촌진흥공사, 1994). 그러나 이번 실험연구는 동일 실험수조에서 투하 사석의 유실율 연구와 동시에 이루어져 현상의 이해에 도움을 줌과 동시에 몇 가지 아쉬움이 남았는데 특히 유량 계측의 설함으로 유량산정의 정밀도에 확신을 가질 수 없었다. 앞으로 웨어나 벤츄리메타 등을 이용하여 유량을 보다 정밀하게 계측할 수 있는 설비가 갖추어진 후 여러 인자에 대한 영향을 파악하기 위하여 보다 조직적인 실험연구가 이루어져야 될 것이다.

본 연구는 농어촌진흥공사의 연구사업 "조류예측 유한요소 수치모형 개발(Ⅲ)" 중의 일부로 이루어진 것이며, 당 공사의 연구지원에 감사드린다. 또한 실험 연구 중 많은 지원과 성원을 아끼지 않은 농어촌진흥공사 농어촌연구원 농공기술연구소 관계자 여러분에게도 심심한 사의를 표한다.

참 고 문 헌

1. 농림수산부, 농어촌진흥공사, 1994, 조류예측 유한요소 수치모형 개발 (Ⅲ), Rep.No. 94-05-13, pp126~141.
2. 윤태훈, 윤성범, 이홍제, 신원태, 1994, 방조제 최종 체절구간에서의 유속예측, 제36회 수공학 발표회 논문집, pp.133-136.
3. Kindsvater, C. E., R. W. Carter and H. J. Tracy, 1953, Computation of peak discharge at contractions, U.S. Geological Survey, Circular No. 284.

(접수일자 : 1995년 5월 27일)