

도시하천 복개에 따른 수리학적 영향

최 계 운*

1. 서론

제 1, 2, 3차 경제개발 5개년 계획의 성공적인 시행을 통한 고도의 경제성장이 전 국토에 골고루 영향을 미쳤다고 보다는 서울등 대도시 중심, 또는 중,소 도시를 중심으로 산업이 집중되는 계기가 마련되었다고 할 수 있다. 이와 같은 도시 중심의 경제성장으로 도시내 토지이용율이 크게 높아졌을뿐만 아니라 많은 지역에서 수요에 대하여 공급이 미치지 못하기 때문에 이를 감당하기 위하여 여러 도시에서는 시민의 휴식처가 되고 있는 중, 소규모의 도시하천을 부분 혹은 전면복개하려는 시도가 급증하였다. 그러나, 이와 같은 하천복개는 하천복개 자체로 끝나지 않고 하천의 미관을 포함하는 하천 환경에 큰 영향을 줄 뿐만아니라 도시 또는 하천유역 주민들에게 엄청난 피해를 미칠 홍수 관리 측면에서도 큰 문제점을 야기 시킬 것으로 우려되고 있다.

현재 도시하천의 복개는 주로 대도시나 중,소도시의 도심지역을 중심으로, 상업지역이나 도로 및 주차난 해소를 위한 공공용으로 개발되고 있으며 이와같은 개발을 통한 시설의 하천점용이나 도로의 하천점용이 아주 빠르게 늘어나고 있다. 이와 같은 하천 복개를 통한 시설과 도로등의 하천부지 잠식은 하천부지 잠식으로 끝나지 않고 복개 구조물의 일부를 형성하는 교각 및 교대등의 설치로 인한 하

천의 통수단면적을 감소시켜 유수 소통에 지장을 주게 되며 홍수시에는 상류방향으로 배수 영향을 미치게 되어 대규모 홍수시 하천 범람등으로 막대한 홍수피해를 초래할 우려가 상존하고 있다.

하천복개에 따른 배수위 상승은 흐름의 질량과 운동량(에너지)의 보존을 나타내는 연속 방정식과 운동량(에너지)방정식의 해석적 방법과 하천의 어떤 단면에 설치된 지장물로 인한 추가적인 배수위 상승을 계산하는 반경험적인 공식이 함께 이용되고 있다. 연속방정식과 운동량(에너지)방정식을 컴퓨터 해석하기 위한 방법으로 부정류에 대한 해석과 부정류에 대한 해석방법이 이용되며 이 중에서 표준축차법 등을 이용한 부정류 해석방법이 실용적으로 많이 이용되고 있다. 대표적인 부정류 해석 프로그램인 HEC-2 프로그램은 미공병단에서 개발된 것으로 이 프로그램내에는 하천상의 교각의 교각 영향을 고려하여 배수위 상승고를 계산하는 부 프로그램이 함께 포함되어 있다. 그러나, 이 부프로그램(Normal Bridge & Special Bridge Method)은 원래 하천상의 단일 교각 단면에서의 교각과 교대에 의한 배수위 상승 효과를 계산 하도록 만들어진 것으로 도시하천 복개와 같이 유수 방향으로 긴구간에 걸쳐 교각이 촘촘하게 설치되어 복합적인 수위 상승 효과를 일으키는 경우에 대하여는 이를 제대로 계산할 능력이 없는 프로그램이다. 그러나, 현재 국내 도시하천 복개시 실시되는 설계용역에서는 배수계산에 HEC-2 프로그램 또는 이

* 인천대학교 공과대학 토목공학과 교수

특집 : 도시하천복개 이대로 좋은가!

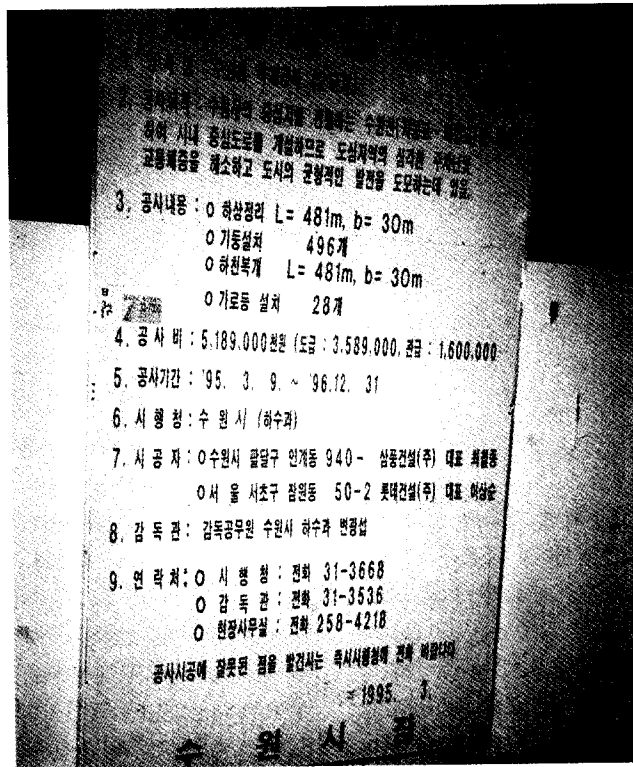


사진 1. 수원천 복개공사 안내 표지판

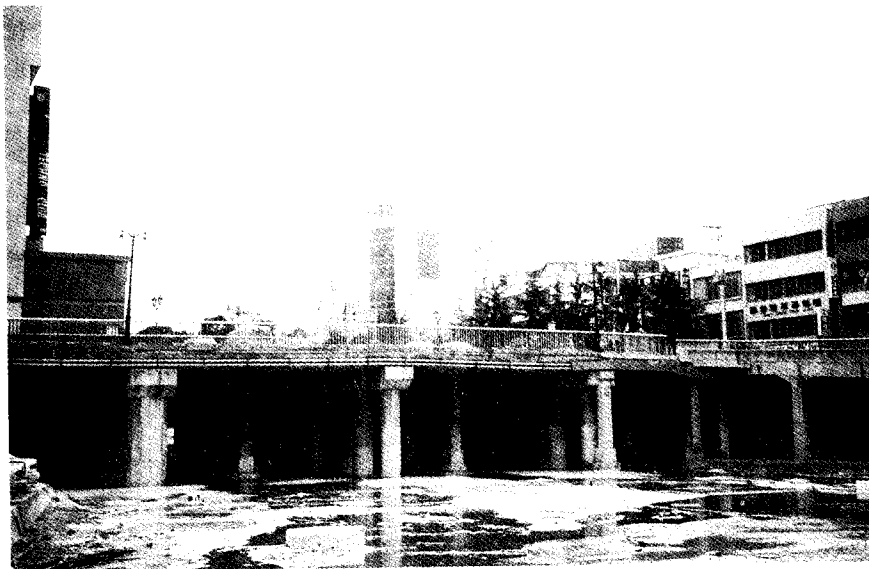


사진 2. 복개된 대전천의 모습

와 유사한 프로그램이 그대로 사용되고 있어 계산의 신뢰도에 의문점이 제기 되고 있다.

특히, 도시하천 복개구간이 단순히 도로나 주차난 해소를 위하여 사용되지 않고 육중한 건물 등을 지탱할 필요가 있는 경우에는 이를 감당하기 위하여 매우 촘촘하고 크게 교각과 교대를 설치할 수밖에 없는데 이와같은 경우 상류부 수위 상승 효과가 상당하여 도시하천이 복개되지 않을 때에 홍수피해를 당하지 않는 지역이 복개후 새로운 홍수피해 지역이 되기도 하며 도시 하천의 치수상 큰 문제점을 야기 하기도 한다. 최근 들어서 지방자치체가 본격 케도에 오름에 따라 시민이나 환경단체 등의 반대에도 불구하고 지방 재정확충이나 사회간접 시설 확충을 위한 하천복개 공사가 늘어가고 있다. 사진 1은 최근 많은 논란 가운데 95년 3월부터 시행되고 있는 수원천 복개공사 안내간판을 보여주고 있으며 사진 2는 복개된 대전천의 모습을 보여주고 있다. 특히 사진 2에서 보이는 복개된 대전천 상부에는 동양백화점 별관, 대전백화점등 중심상가들이 접하고 있어 엄청난 통행인구, 통행하중 등에 의하여 복개 시설이 과다한 하중에 시달리고 있다.

2. 하천복개시 단일 교각에 의한 수위 변화

앞에서 언급한 바와 같이 하천 복개시에는 엄청난 량의 교각과 교대를 설치하게 된다. 이와 같은 교각과 교대 설치로 인한 수위상승 영향을 좀 더 이론적으로 검토하기 위하여 단일교각에 대한 수위 변화를 검토하였다. 그림 2.1은 교각 통과시 상류와 하류간 수위 변화에 대한 여러 형태를 보여주고 있다. 그림 2.1에서 d_1 은 상류수심, d_2 는 교각 통과지점 수심, d_3 는 하류부 수심, d_c 는 상류 또는 하류부의 한계수심, d_{c2} 는 교각 통과지점에서의 한계수심을 나타내고 있다.

그림 2.1에서 보는바와 같이 첫 번째 경우(class A)는 하천내 흐름이 상류일 경우인데 교각 설치지점에서 통수단면적 감소로 인하여 수위가 저하되었다가 교각 설치지점 통과후 다시 정상수위로 돌아오는 경우이다. 이 경우는 교각 설치지점이나 상,

하류 모두 상류흐름이고 교각 설치로 인하여 상류와 하류간 수위차 Δh 가 발생한다. 두 번째 경우(class B)는 교각설치지점 통과시 한계류인 경우인데 이 경우에는 교각 설치지점 상류부는 常流흐름을 하류부는 常流흐름 또는 사류흐름을 유지하는데 이 경우 역시 상, 하류간 교각 설치로 인하여 수위차가 발생한다. 세 번째 경우(class C)는 하천내 흐름이 사류인 경우인데 이 경우에는 교각 설치로 인하여 수위가 오히려 상승하였다가 하류부에서 다시 하강하게 된다. 그러나, 이 경우에는 교각 설치로 인한 에너지 손실량 ΔE 때문에 하류수위가 상류부 수위보다 오히려 높아지게 된다.

그러나, 이와같은 수위 변화량은 하천흐름을 지배하는 수리학적 조건, 기하학적 조건 및 교각 설치조건 등에 따라 그 크기가 달라지게 된다. 따라서, 그 동안의 여러 연구자들에 의하여 주로 실험을 통하여 제안된 식을 이용하여 그 크기를 결정하는 것이 일반적이다. 이 중에서는 아래와 같은 BPR 방법, HEC-2 방법과 D'Aubuisson 공식을 이용하는 방법이 널리 사용되고 있다.

2.1. BPR방법

이 방법은 원래 단순하천내 교량설치에 따른 배수위 변화를 산정할 목적으로 사용되기 시작하였다. 따라서, 넓은 홍수터를 가진 하천에 설치된 교량에 대하여는 실제자료보다 배수위를 낮게 예측하는 경우가 많다. 이를 개선하기 위한 개선된 해석방법이 1970년에 발표되었다. 개선된 해석방법에서는 교량에 의한 배수곡선이 최대 배수위가 발생하는 상류지점과 정상류로 다시 회복되는 하류지점간에 연속방정식 및 에너지 보존법칙을 식 2.1과 같이 적용하므로써 교량에 의한 배수고 h_1^* 을 구하게 된다.

$$h_1^* = K \cdot a_2 (V_{n2}^2 / 2g) + a_1 [(A_{n2} / A_4)^2 - (A_{n2} / A_1)^2] V_{n2}^2 / 2g \quad (2.1)$$

여기에서, h_1^* = 교량에 의한 전 배수고

특집 : 도시하천복개 이대로 좋은가!

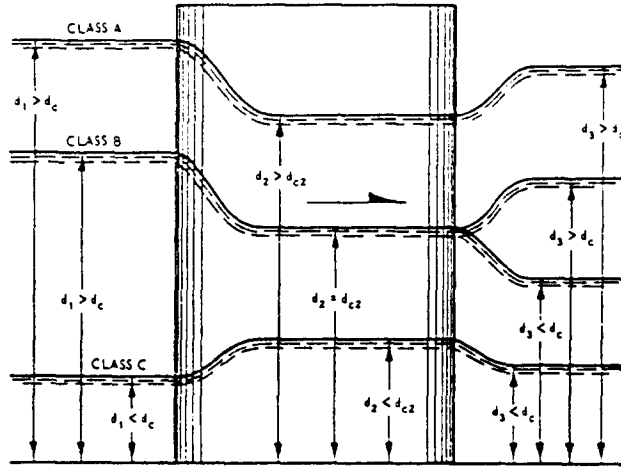


그림 2.1 교각 통과시의 상류와 하류간 수위 변화

K^* = 전 배수계수

a_1 = 교량상류단과 하류단에서의 속도수두 보정계수

a_2 = 수축부에서 속도수두 보정계수

A_{n2} = 정상수면 조건하에서 수축부에서의 통수단면적

V_{n2} = 정상수면 조건하에서 수축부에서의 평균유속

A_4 = 교량하류단에서의 통수단면적

A_1 = 배수고를 포함한 교량상류단에서의 통수단면적

식 2.1에서는 교량에 의한 전 배수고 h_t^* 는 전 배수계수 K^* 에 크게 영향을 받게 되는데 이는 수리학적 흐름조건, 교각의 개수, 크기, 모양 등의 교량조건, 교량의 불균형적 배치에 의한 편심정도나 흐름방향에 대한 교각 접근각도 등의 교각 설치조건 등에 영향을 받는다. 전 배수 계수 K^* 는 식 2.2와 같이 표현될 수 있다.

$$K^* = k_b + \Delta k_p + \Delta k_e + \Delta k_s \quad (2.2)$$

여기에서,

K^* : 전 배수계수

k_b : 기본곡선 변화에 의한 배수계수

Δk_p : 교각에 의한 배수계수

Δk_e : (교각의 불균형적 배치에 의하여 발생하는) 편심정도에 의한 배수계수

Δk_s : 교각에 대한 흐름의 접근 각도에 의한 배수계수

식 2.2중에서 기본곡선 변화에 의한 배수계수 k_b 는 常流상태에서는 주로 개도비 M 의 영향을 받는다. 여기에서 개도비 M 이란 하천 총단면적 중에서 교각 등에 의하여 수축되는 부분을 제외한 실제 물이 흐르는 단면적의 비를 의미한다. 그림 2.2는 기본곡선 변화에 의한 배수계수를 보여주고 있다.

교각에 의한 배수계수 Δk_p 는 수축비 J 에 의하여 다른 값을 갖게 되는데 이때 수축비 J 는 하천의 흐름방향에 대한 총 투영단면적에 대하여 교각의 투영단면적의 비를 말한다. 그림 2.3은 수축비에 따른 배수계수 Δk_p 의 변화를 보여주고 있는데, 그림에서 $\Delta k_p = \sigma \cdot \Delta k$ 의 값으로 구하도록 되어 있고 σ 의 값은 개도비 M 과 하천복개를 위하여 설치되는 교각 형상에 따라 주어진 그림에서 구하도록 되어 있다. 즉 그림 2.3에서는 외곽 그림에서 Δk 값을 구하고 작은 그림에서 σ 값을 구하여 이를 곱하여 Δk_p 값을 구하도록 하고 있다.

교각설치의 편심정도는 교각이 흐름 횡단면의 중

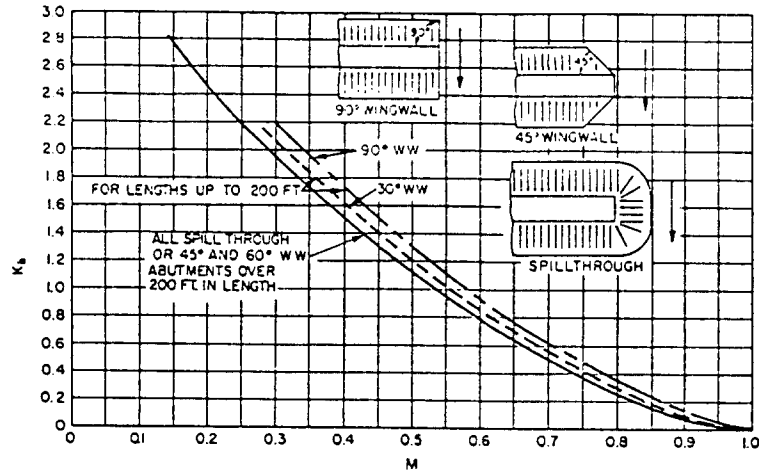


그림 2.2 常流 상태에서 개도비에 따른 기본곡선 변화에 의한 배수계수

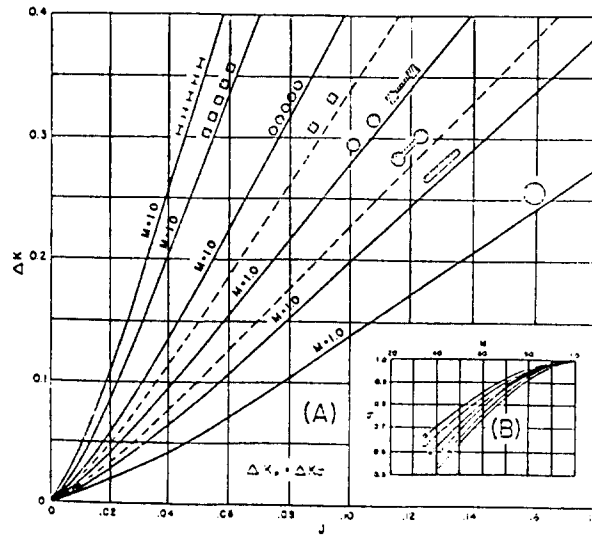


그림 2.3 수축비에 따른 교각의 배수계수 Δk_s 의 변화

양에 놓여 있는 정도에 따라 구분하고 있으며 교각이 흐름의 중앙에 설치되어 있다면 편심이 없다고 한다. 편심정도에 의한 배수계수 Δk_s 는 그림 2.4에서 구할수 있으며 그림 2.4는 개도비 M에 따른 편심정도에 의한 배수계수 값을 보여주고 있다.

그림에서 e의 값은 1에서 하천 저수로를 중심으로 좌, 우 양측 홍수터로 구분되어 흐르는 유량의 비를 제외한 값으로 주어지게 되며, 좌, 우홍수터의

유량이 동일할 때에는 e값이 0이 된다.

교각 접근 각도에 의한 배수 계수 Δk_s 는 개도비 M과 교각의 접근 각도 θ 와의 관계로 주어지며 그림 2.5는 이에 대한 값을 보여주고 있다.

미국토목학회에서 1994년에 발행된 도시 홍수관리 시설 설계와 건설(ASCE Manual No. 77)에서는 교각 설치시 수위변화량 계산을 위하여 이와 같은 BPR 방법을 소개하고 있다.

특집 : 도시하천복개 이대로 좋은가!

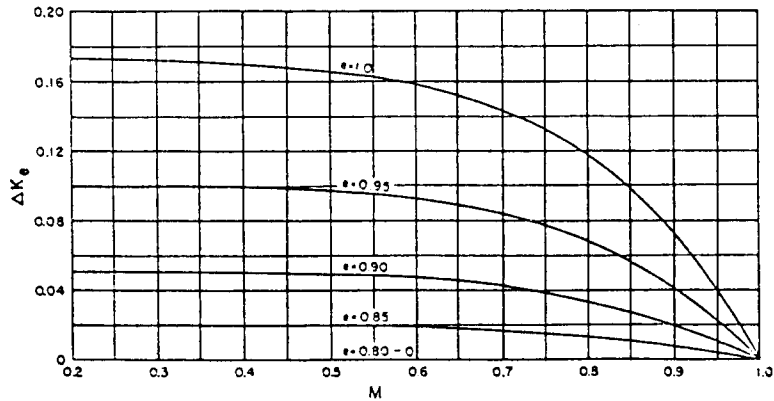


그림 2.4 개도비 M에 따른 편심 배수계수 ΔK_c 의 변화

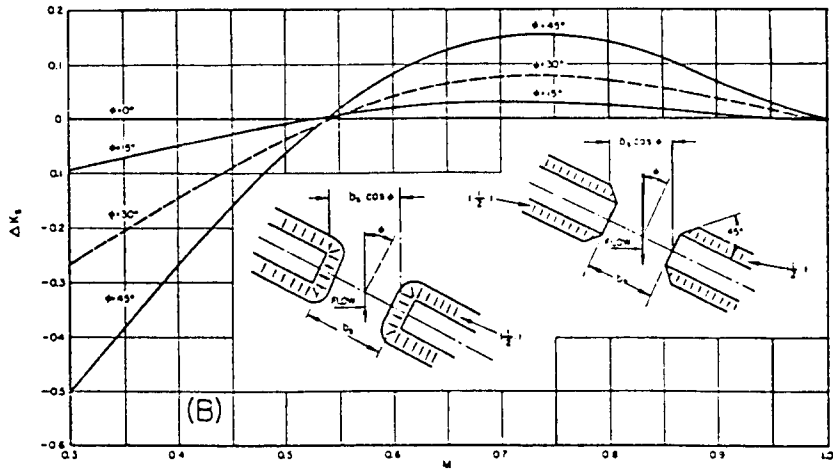


그림 2.5 개도비 M에 따른 교각 접근 각도에 의한 배수 계수 ΔK_c 의 변화

2.2 HEC-2 방법

미공병단에서 개발된 HEC-2에서는 교량 설치에 따른 고려를 정상 계산 방법(normal bridge method)과 특수 계산 방법(special bridge method)으로 구분하여 계산한다. 정상 계산 방법은 흐름이 교량 설치 구간을 통과할 때 교각이나 상판 등의 영향으로 소용되는 단면이 축소되며 유변은 증가된다고 보아 기존의 부동류 계산방법인 표준축차계산법에 의하여 수위를 계산하는 방법이고, 특수계산방법은 교량부를 통과하는 수위와 교량의 각 부분의 표고를 비교하여 수위 및 표고에 따라 흐름

을 저수흐름(low flow), 압력흐름(pressure flow), 웨어흐름(weir flow)등으로 구분하여 각각 다른 방법으로 배수위를 계산하는 방법이다.

교량 상판부의 표고를 h_e , 상판하부의 표고를 h_b , 하천수위를 h 라 할 때, $h \leq h_b$ 인 경우는 저수흐름 조건으로서 수축흐름이 발생할 것이고, $h_b \leq h \leq h_e$ 인 경우의 압력흐름조건에서는 오리피스 흐름이 발생할 것이며, $h > h_e$ 인 경우는 교량부를 월류하는 조건으로서의 웨어흐름이 될 것이다.

(1) 수축흐름

이 흐름은 교량 설치 지점 상, 하류측에서의 흐름상태에 따라 다음의 세가지 조건으로 구분된다. 上流측이 常流흐름이고 下流측이 常流흐름인 조건에서는 Yarnell(1934)의 식을 사용하여 수위차를 식 2.3과 같이 기술하였다.

$$\frac{\Delta y}{y_3} = kF_3^2(k + 5F_3^2 - 0.6)(\sigma + 15\sigma^4) \quad (2.3)$$

여기서, Δy 는 상,하류간 수심의 차이이고, F_3 는 수축단면의 Froude 수이며, k 는 경험적 수치이고, σ 는 단면수축율로서 ($\sigma = 1 - \Gamma$)이다. 여기서 $\Gamma = b_2/b_1$ 이고 b_1 은 하도단면폭, b_2 는 교량에 의한 수축 단면폭이다.

上流측은 常流흐름이고 下流측은 射流흐름인 조건에서는 도수가 발생한 상태의 흐름조건으로 운동량 방정식을 사용하여 식 2.4와 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} m_1 - m_{p1} + (Q^2/(gA_1^2))(A_1 - C_D/2A_{p1}) \\ = m_2 + Q^2/(gA^2) \\ = m_3 - m_{p3} + Q^2(gA_3) \end{aligned} \quad (2.4)$$

여기서,
 A_1, A_3 : 교각설치 상류부 및 하류부의 흐름 단면적
 A_2 : 수축부의 흐름단면적
 A_{p1}, A_{p3} : 상류부 및 하류부 단면중 흐름에 방해되는 면적
 y : 수표면으로부터 면적 A 의 중력 중심까지의 거리
 $m = Ay$
 C_D : 항력계수

上流 및 下流측이 모두 射流인 조건에서의 해석은 상류-사류 공간에 적용한 것과 동일한 계산과정이 사용된다.

(2) 압력흐름

이 흐름은 교량 상판이 잠길때에 발생한다. 이 경우 흐름은 오리피스와 유사하며 관계식은

아래와 같이 표현된다.

$$Q = A(2gH/k)^{1/2} \quad (2.5)$$

여기에서, H : 상 하류단의 수두차
 k : 손실계수
 A : 오리피스 흐름이 되는 단면적

(3) 웨어흐름

이 흐름은 수위가 교량상판을 넘어서면서부터 발생하는 흐름으로 다음과 같은 관계식을 가진다.

$$Q = CLH^{3/2} \text{ 또는 } H = (Q/CL)^{2/3} \quad (2.6)$$

여기서, C : 유량계수
 L : 침수된 상판부의 유효길이
 H : 상판부에서의 월류수두

하천내 교량이 설치된 지점에서는 이와같은 3가지 흐름으로 일단 구분한 후에 이에 적합한 각각의 공식을 적용하여 수위변화량을 구하게 된다.

2.3 D'Aubuisson 공식을 이용하는 방법

D'Aubuisson은 교각 설치에 따른 상,하류간의 에너지 관계를 이용하여 교각설치시 상승되는 수면고를 계산하였다. 교각 설치전 상류지점과 교각설치 지점에서의 에너지 관계식은 아래식과 같다.

$$\alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} + y_1 = \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + y_2 + h_f \quad (2.7)$$

여기서 에너지 보정계수 α_1 및 α_2 를 1.0이라 가정하면 마찰손실수두 h_f 를 0이라 가정하고 $V_2 = \frac{Q}{K_A b_2 y_2}$ 라 하면(K_A 는 축소손실계수), 위의식은 아래와 같이 정리된다.

$$\begin{aligned} Q &= K_A b_2 y_2 V_2 \\ Q &= K_A b_2 y_2 \sqrt{2gLy + V_1^2} \end{aligned} \quad (2.8)$$

특집 : 도시하천복개 이대로 좋은가!

여기에서, $b_2 = B_3 - nd$ (d 는 교각폭)로서 횡단면 차단면적을 제외한 순 통수단면의 폭이며, D'Aubuisson이 수위 y_2 와 y_3 를 같다고 가정하여 결정한 D'Aubuisson 공식은 다음과 같다.

$$Q = K_A b_2 y_2 \sqrt{2g \Delta y + V_1^2} \quad (2.9)$$

식 2.9를 수면 상승고 Δy 의 항으로 정리하면

$$\Delta y = \frac{V_3^2}{2gK_A^2} \left(\frac{B_3^2}{b_2^2} - 1 \right) \quad (2.10)$$

여기에서 K_A 는 수로의 축소정도와 장애물의 형상 및 방향에 좌우된다. $y_2 = y_3$ 라는 가정은 수심 $h_2 = h_3$ 임을 뜻하며, 따라서 배수비는 1.0이 된다. 물론 이것은 항상 사실인 것은 아니지만 많은 경우에 y_2 와 y_3 는 차이가 없다. 이런 이유로 D'Aubuisson 공식은 경험적이며 근사적이라 볼 수 있다. D'Aubuisson 공식을 무차원화 시키면 아래와 같다.

$$\frac{\Delta y}{y_3} = 0.5 [F_{r3}/K_A]^2 [(B_3/b_2)^2 - 1] \quad (2.11)$$

식 2.11을 이용하여 Δy 값을 구하여 하천내 교각 설치로 인한 수위영향을 계산할 수 있다.

3. 하천 복개시 교각군에 의한 수위 영향

제 2장에서 하나의 교각설치에 따른 수위 상승에 관한 영향을 검토하였다. 그러나, 하천 복개시에는 설치되는 교각이 하나가 아니라 복개길이에 따라 수십 및 수백개가 연이어 설치된다. 이와 같이 설치된 교각군은 복개 상류부에 단일교각 설치에 따른 영향과는 다른 영향을 미치게 된다. 즉, 복개시 교각사이의 거리가 상당히 좁기 때문에 수위에 대하여 각각의 교각이 단일 교각으로 영향을 미치기 보다는 교각상호간의 간섭현상이 있게 된다. 교각군에 의한 수위 영향은 크게 흐름특성과 교각 및 지형적 특성에 따라 영향을 받는 것으로

판단되며 흐름특성으로는 수심, 유속, 중력가속도 등의 인자가, 교각 및 지형적 특성으로는 하천 폭, 하상경사, 교각의 크기, 횡단면당 교각의 수, 교각 단면간 간격, 복개구간의 길이 등이다. 윤용남(1995)은 이와 같은 인자들을 무차원화하여 각각의 인자에 의한 수위영향을 검토하였다. 그림 3.1은 하천 복개시 교각군에 의하여 전형적으로 발생되는 수위 상승 상태를 보여주고 있다.

그림 3.1에서 보는 바와같이 교각이 하나 있을때와는 달리 교각의 수가 촘촘하게 증가할수록 상호작용을 미치게 된다. 그림 3.1에서 표현된 교각의 직경(d), 복개 구간의 길이(LP), 교각 단면간 간격(SPL)등이 수위상승에 영향을 미치는 주요한 인자가 된다. 그림 3.2는 교각의 수(NPL) 증가에 따른 실험결과와 D'Aubuisson 공식을 적용한 결과와의 비를 보여주고 있다(윤용남, 1995). D'Aubuisson공식을 적용하여 교각증가에 따른 수위 상승 해석은 단일 교각에 의한 수위 상승치에 연이은 다음 교각에서는 유속감소에 의한 Froude수 감소 효과를 고려하여 공식을 적용하여 상류수위 상승량을 구하여 상류 각 지점에서 구한 수위 상승량을 누가하므로써 홍수위 상승량을 구하게 된다. 그림에서 보는 바와같이 Froude수 0.4이하에서는 실험결과와 공식을 적용한 결과와 상당히 유사한 값을 보여주고 있으며 Froude수 0.4이상에서도 그 차이는 크지 않았다. 그러나 Yarnell공식과 말뚝저항공식 등을 이용한 수위상승치와 실험결과는 상당히 다른 값을 보이고 있다. 따라서, 교각군에 의한 수위 상승 효과를 계산하기 위하여 Yarnell 공식이나 말뚝저항 공식 등을 사용할 경우에는 적용범위에 대한 상당한 주의를 요한다. 윤용남(1995)은 이와 같은 실험결과를 바탕으로 종방향 교각 증가에 따른 수위 상승량 공식을 아래와 같이 제안하였다.

$$\frac{\Delta y}{y_3} = 0.00241 \alpha^{1.452} Fr^{2.056} NPL^{0.880} SP^{0.204} \quad (3.1)$$

여기에서, Δy : 수면상승량

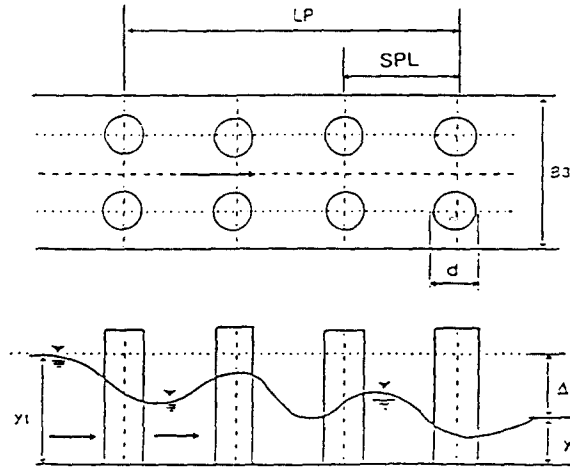


그림 3.1 하천 복개시 교각군에 의한 상류부 수면 상승 현상

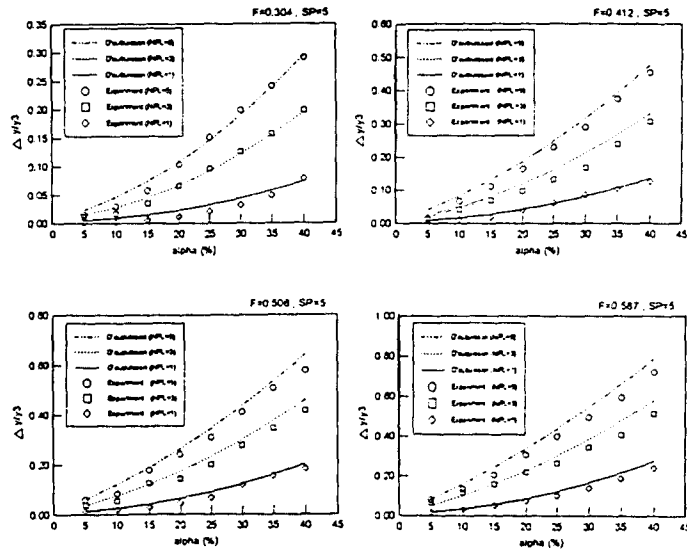


그림 3.2 교각의 수 증가에 따른 상류부 수위 상승

- y_3 : 하천 복개 하류 단면에서의 수심
- α : 횡방향 흐름 차단율
- Fr : Froude의 수
- NPL : 종방향 교각 단면의 수
- SP : 단위 교각 간격

식 3.1에서 보는바와 같이 교각군에 의한 수위

상승효과는 Froude 수가 증가하거나 하천 횡방향 차단율이 증가할수록 민감하고, 그 다음으로 교각의 수가 증가할수록 수위상승 효과가 크게 나타난다. 식 3.1은 아직까지는 단순 실험결과에 의한 식이며 하천복개의 여러 유형에 대한 폭넓은 검증 절차만 거치면 하천복개시 교각군에 의한 수위상승량 계산에 유용하게 사용될 것으로 판단된다.

4. 결 언

앞에서 살펴본 바와 같이 대도시나 중,소도시에서 하천을 복개하여 도로로 이용하거나 주차난 해소를 위한 주차장등으로 이용하고 심지어는 상가건설 등을 위한 부지로 사용하려는 움직임이 갈수록 커지고 있다. 이와 같은 움직임은 하천 복개에 따른 수위변화 예측, 환경변화 예측 등 복개후의 변화에 대한 세심한 배려가 부족한 상태에서 복개후의 이용에만 초점이 맞추어지는 경향이 있다. 그러나, 하천 복개시 필연적으로 하천에 설치되는 교각 및 교대에 의한 불가피한 영향으로 상당한 배수위 상승효과가 있으며 이는 하천 복개 길이가 길어질수록, 또한 교각이나 교대의 숫자가 늘어날수록 커지게 된다. 이와같은 상류부 수위상승 효과는 하천 복개 이전에 홍수피해가 없던 지역에도 새로운 홍수피해를 일으키게 하는 원인이 되기도 하며 기존 홍수피해를 더욱 심화시키기도 한다.

본 글에서는 이와 같은 수위상승에 의한 피해를 염두에 두고 하천 복개에 따른 수리학적 영향을 단일 교각 설치시와 교각군 설치시로 구분하여 검토하였다. 따라서, 도시 하천에서 불가피하게 하천을 복개하게 되는 경우에는 이와 같은 교각 설치로 인한 수위 상승 영향을 반드시 검토하여 새로운 재해를 만들거나 기존 재해를 더욱 확대하지 않도록 할 필요가 있다.

참 고 문 헌

Chow, V. T., 1982, "Open-Channel Hydraulics", McGraw-Hill International Book.

Department of the Army Corps of Engineers, 1982, "Hydraulic Design of Flood Control Channels", Engineer Manual EM 1110-2-1601.

French, Richard H., 1985, "Open-Channel Hydraulics", McGraw-Hill Book.

Henderson, F. M., 1966, "Open Channel Flow", Macmillan.

Hydraulic Engineering Center, 1982, "HEC-2, Water Surface Profiles, Users Manual", U.S. Army Corps of Engineers.

Jansen, P Ph et al., 1979, "Principles of River Engineering", Pitman.

Nagler, F. A., 1918, "Obstruction of Bridge Piers to the Flow of Water, Transaction", ASCE, Vol. 82.

Novak, P., Moffat, A. I. B. and Nalluri, C., 1990, "Hydraulic Structures", Unwin Hyman.

Richardson, E. V., Simons, D. B. and Julien, P. Y., 1987, "Highways in the River Environment", U. S. Dept. of Transportation, Federal Highway Administration.

The Urban Water Resources Research Council of the American Society of Civil Engineers and the Water Environment Federation, 1994, "Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems", ASCE, Alexandria, VA.

윤용남, 1995, "도시 하천의 복개로 인한 배수영향의 실험적 및 해석적 연구", 한국과학재단.

한건연, 조홍제, 손광익, 김광섭, 1993, "교량에 의한 하천 홍수위의 변동해석", 한국수문학회지 제26권 제4호, pp35-46.