

階段式魚道에서 魚族의 遡上效果 豫測에 관한 研究

金 鎮 洪

1. 緒 論

河川 氾濫 水理構造物이나 防潮堤 배수갑문 등에는 魚族의 生態界 保全을 위해 魚道設置를 의무화하고 있으며 魚族의 遡上을 원활히 하도록 魚道 연구의 필요성이 증대되고 있다. 魚道 內部에는 魚族의 遡上을 용이하게 하기 위하여 여러 構造物이 설치되어 있다. 魚道 水理試驗은 구조물에 따른 魚道內의 복잡한 水理現狀을 실제로 눈으로 확인할 수 있기 때문에 設計形狀의 타당성에 대해 검토할 수 있으며, 수치 simulation으로 해석하기 어려운 3차원적인 水理現狀이나 局所的인 흐름해석에 유효하다. 따라서 魚道 水理試驗을 통하여 魚道の 遡上효과를 충분히 발휘하도록 適正構造物을 설계할 수 있다는 점에서 魚道 水理試驗이 요구된다.

본 研究에서는 새만금지구 階段式魚道の 隔壁形狀, 潛孔設置, 側壁 홈설치 등에 따른 水理 특성 및 魚族의 遡上효과를 예측하고, 魚族의 소상을 원활하게 하도록 구조물 形狀을 제시함으로써 最適構造物 설계에 지침이 되고자 한다.

2. 模型 製作 및 試驗方法

魚道模型은 새만금지구 설계도를 기준으로 設計되었으며 이는 계단식魚道, 誘引水路, 장어 魚道로 구성되며 축적 $s = 1/10$ 로 제작되었다. 따라서 전체 魚道の 폭은 56cm이며 길이는 4.52m이다. 淡水湖 模型 저수조에 연결되는 靜水槽는 콘크리트 블록으로 축조하였으며, 이를 제외한 魚道の 모든 부분은 30mm두께의 투명 acryle로 제작해서 魚道內의 流況과 流速의 관찰이 용이하도록 하였다.

계단식 魚道모형은 gate부, 調節水門部, 橋臺部의 3부분으로 나누어지며, 폭은 25cm이다. 계단식魚道는 遊泳力, 跳躍力이 강한 농어, 송어를 대상으로 하여 좌우높이가 8cm와 9cm인 사다리꼴 隔壁을 설계하였으며 인접 隔壁과는 隔壁형상을 반대로 하여 zig-zag형으로 하였다. 隔壁間격은 조절수문부에서 35cm, 교대부 상류에서는 30cm, 교대부 하류에서는 20cm로 하여, 遡上초기에 遡上시간을 단축시키고 상류부를 休息터화 하도록 하였다. 隔壁下部에는 2.5cm * 2.5cm의 潛孔을 설계하되 인접하는 隔壁의 潛孔과는 대각선이 되도록 제작하였다.

魚道 각 부분의 수위는 木材로 제작한 水位 測定臺를 설치하여 point gauge를 이용하여 측정하였으며 유속 측정은 digital indicator 404 type의 유속계와 model 名 ACM-250의 x,y 2방향 유속계를 병행하여 사용함으로써 측정의 정밀도를 높이도록 하였다.

* ; 農漁村振興公社 農漁村研究院 責任研究員

流況 측정은 染料 注入을 하여 흐름을 명확히 관찰할 수 있도록 하였으며 이 경우 염료는 물과 比重이 거의 같도록 염료에 우유등을 첨가하였다.

실험조건은 內水位를 管理水位(EL-1.5m)에서 계단식 魚道 最上流部 좌우 평균 隔壁高(EL-1.7m)까지 변화시키면서 실험하였고, 外水位의 潮位條件은 魚道 하류단에 설치한 weir를 작동하여 魚道를 통한 自然越流가 가능한 조위(관리수위이하 大潮 平均 干潮位까지)를 각각 재현시켰다.

3. 흐름의 특성 및 魚族의 遡上效果 豫測

魚族은 흐름에 거슬러 移動하려는 습성이 있다. 圖 -1은 각각의 흐름에 따른 魚族의 移動 모습을 보여주고 있다. 위 그림을 참고로 하여 낙하류 상태와 표면류 상태에서 각각 遡上효과를 예측할 수 있다.

가. 落下流 상태에서의 흐름특성 및 遡上效果

圖 -2는 계단식 魚道내에서 낙하류 상태일 경우의 흐름특성 및 魚族의 遡上형태를 나타내고 있다. 圖 -2(a)에서 상류 隔壁에 潛孔이 있는 경우 魚族의 遡上형태를 서술하면 다음과 같다.

가) 潛孔에서의 噴出流과 隔壁을 越流해서 바닥으로 잠입하는 흐름이 혼합되어 난류의 기포영역이 넓게 분포되어 기포영역을 회피하는 魚族에게 遡上 장애를 가져온다.

나) 하류측 隔壁을 도약, 遡上한 魚族은 分離點A에서 下部로 향한 후 바닥을 따라 상류로 진행한다.

다) 재부착점 B에 도달한 후 潛孔, 상·하류측의 어느 곳으로 遡上 진행할 지 방향감각을 잃고 방황한다.

라) 일부 魚族은 潛孔 속으로 들어갈려고 하나 분출류의 流速에 밀려 되돌아 나오거나, A와 B로 이루어지는 순환류에 거슬러 시계방향으로 계속 순환하기도 한다.

마) 따라서 순환류에 거슬러 遊泳하거나, 潛孔 속으로 들어갈려고 하는 과정에서 魚族의 遡上시간이 늦어지며, 遡上에 피로를 느낀다.

바) 潛孔이 설치됨으로써 魚族의 유영범위, 행동경로가 길어지고 遡上시간이 늦어지므로 바람직하지 못하다.

한편, 상류 隔壁에 潛孔이 없는 (b)의 경우 魚族의 遡上형태를 살펴보면,

가) 隔壁을 越流한 후 바닥으로 潛入하는 흐름에 의해 氣泡領域이 형성되나 영역의 분포면적은 (a)보다 좁다.

나) 하류측 隔壁을 도약, 遡上한 魚族은 分離點 A에서 바닥으로 향한 후 바닥을 따라 상류로 진행한다.

다) 再附着點 B에 도달한 후 일부는 循環流에 거슬러 하류로 移動하기도 하며, 이 경우 시계방향으로 循環한다.

라) B점에서 방향감각을 잃을 수 있으나, 한 두번의 시행착오 후 上流로 跳躍, 遡上한다.

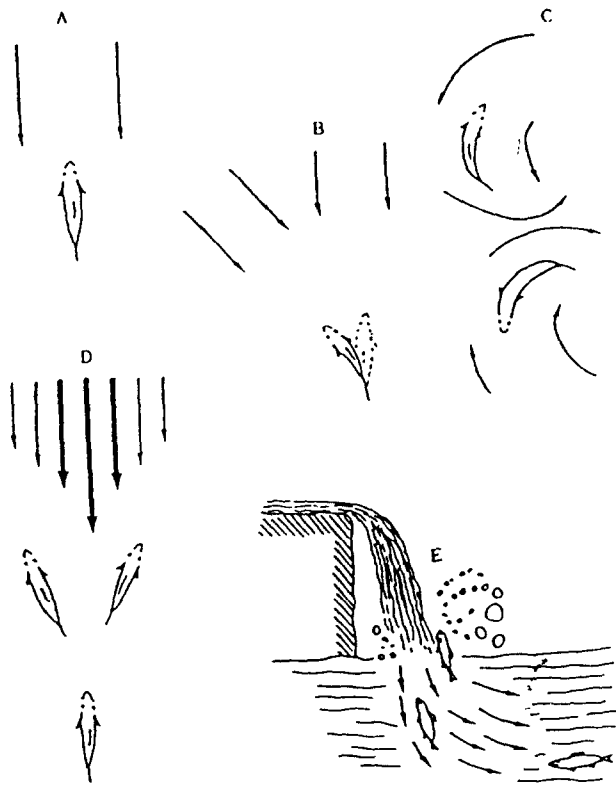
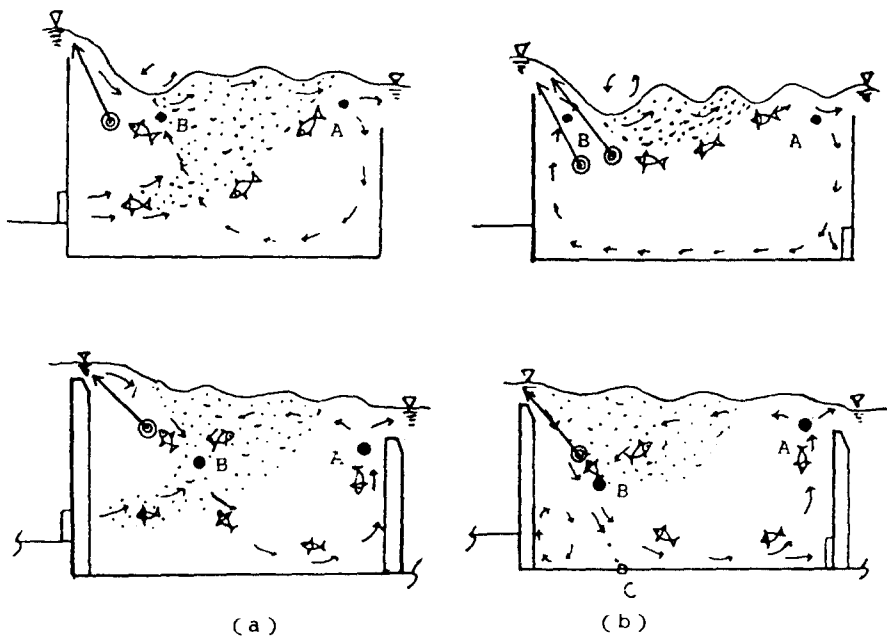


Fig. 1 흐름에 대한 거동 모습



- (a) : 상류 격벽에 잠공이 있는 경우, A : seperation point
 (b) : 상류 격벽에 잠공이 있는 경우, B : reattachment point
 ⊙ : 도약 지점 및 도약 경로

Fig. 2 낙하류 상태에서의 소상 형태

마) 따라서 (a)보다 遡上시간이 단축되고 魚族에게도 피로감을 그만큼 줄일 수 있다.

따라서 潛孔이 없는 경우가 魚族의 遡上에 용이함을 알 수 있다. 또한 (b)의 경우 상류측 隔壁 直下部에 흐름의 박리로 인한 流速이 느린 2次流(secondary flow)가 존재하므로 휴식 터화할 수 있어 도약, 遡上에 지친 魚族의 휴식 및 재충전을 기할 수 있다.

나. 表面流 상태에서의 흐름특성 및 遡上效果

圖 -3은 계단식 魚道내의 흐름이 표면류일 경우 흐름의 특성 및 魚族의 遡上형태를 나타내고 있다. 圖 -3의 (a)에서 潛孔이 있을 경우의 魚族의 遡上상태를 살펴보면,

가) 隔壁을 越流한 흐름은 바닥으로 潛入하지 않으므로 기포 영역이 낙하류의 경우에 비해 좁지만 潛孔으로부터의 분출류에 의해 기포 영역이 넓어진다. 따라서 魚族의 遡上に 지장을 준다.

나) 하류측 隔壁을 도약, 遡上한 魚族은 분리점 A에서 기포영역을 피해, 기포영역 밑으로 遡上한다.

다) 潛孔으로부터의 분출류에 거슬러 潛孔 속으로 들어갈려고 하나 流速에 밀려되돌아 나온다.

라) 몇 번의 시행착오후 魚族은 상류측 隔壁으로 도약 遡上한다.

한편, 潛孔이 없는 (b)경우의 遡上형태를 살펴보면,

가) 隔壁을 越流한 흐름이 바닥으로 潛入하지 않고 표면을 따라 흐르므로 기포영역이 작아 魚族의 遡상이 손쉬워진다. 기포영역 밑에서 魚族은 휴식을 취할 수 있어 도약, 遡상을 위한 재충전을 기할 수 있다.

나) 하류측 隔壁을 도약, 遡上한 魚族은 곧바로 기포영역 밑을 통해 遡上한 후 재부착점 B에 도달한다.

다) B점에서는 바닥으로부터 상승하는 순환류가 존재하지만 流速이 느리므로 魚族의 移動에 영향을 주지 못하다.

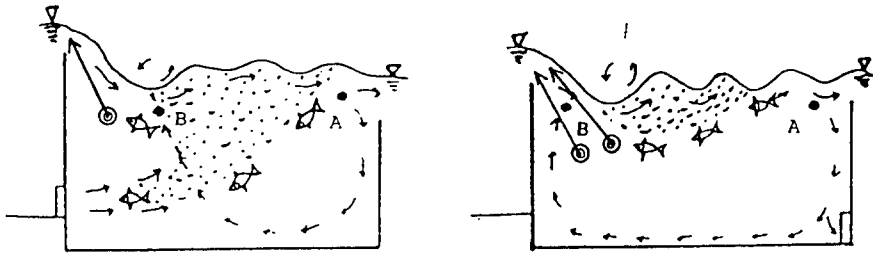
라) 따라서 魚族은 곧바로 상류측 隔壁을 도약, 遡上한다.

또한, 사다리꼴 隔壁에서 기포 영역에 따른 도약, 遡상을 보면 圖 -4와 같다.

圖 -4에서 隔壁高가 높을수록(즉 越流水深이 작을수록) 기포영역이 좁으며, 흐름의 표면 流速도 작고 흐름의 영향이 하류까지 미치지 못한다. 따라서 魚族은 흐름의 표면 流速이 크고 영향 영역이 큰 隔壁 좌측을 향해 遡上한 후, 流速이 작은 측벽 근처에서 많이 도약한다. 右側 隔壁에서는 흐름의 流速이 작고 潛孔으로부터의 분출류로 인해 遡上に 지장을 주기 때문에 魚族의 遡上 빈번도가 낮다. (그림에서 화살표의 굵기는 遡상의 빈번도를 나타내며 굵을수록 많이 遡上함을 의미한다).

圖 -4와 같이 측벽에 흠이 일정간격으로 설치된 경우 흐름은 구불구불해 지기는 하나 이로 인한 流速의 減少效果는 별로 없으므로 魚族의 遡上に 큰 도움을 주지 못한다. 또한 이 끼등의 부유물이 끼어 美觀상 좋지 않거나 維持管理에도 문제점이 있다.

圖-5는 격벽을 越流하는 흐름유속의 횡단분포를 나타내고 있다. 管理水位(RN1)의 경우 윗류유속은 魚族의 適正流速範圍 0.5-0.7m/s를 넘으나 限界流速 1.2-1.25m/s에는 미치지 않고



(a) ; 상류 석벽에 잠공이 있는 경우 ; A : Separation point
 (b) ; 상류 석벽에 잠공이 없는 경우 ; B : Reattachment point
 ↑ ; 도약지점 및 도약 경로
 ⊙ ; 기포 영역

Fig. 3 표면류 상태에서의 소상형태

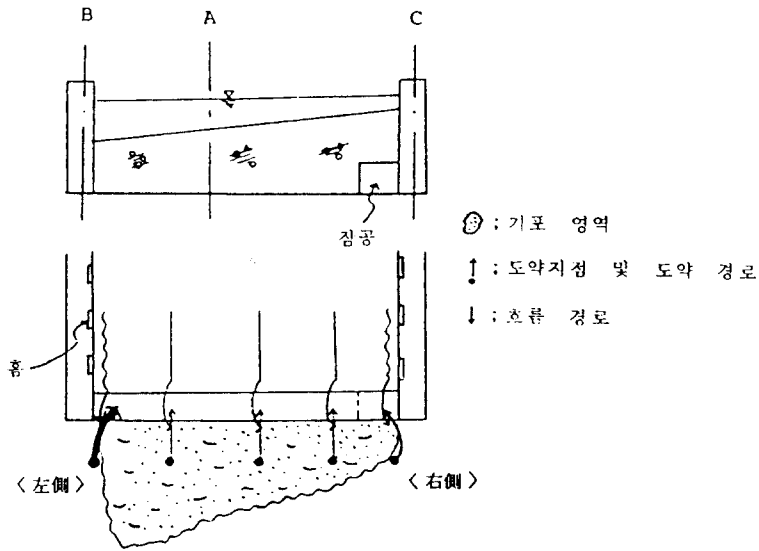


Fig. 4 사다리꼴 격벽에서의 도약, 소상 형태

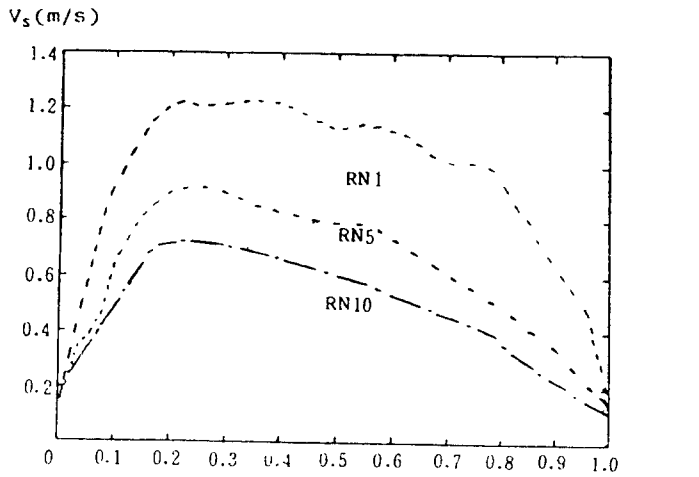


Fig. 5 윗류流速의 橫斷 分布

있다. 이 경우 魚族은 유속이 작은 측벽 근처에서 跳躍한 후 소상함을 예측할 수 있다.

이상과 같은 분석을 통해 볼 때 潛孔설치는 魚族의 遡上에 지장을 주며 낙하류 상태보다는 표면류 상태에서 遡上이 쉬어진다. 즉 潛孔이 설치되지 않은 표면류 상태가 가장 바람직한 遡上 상태이다. 또한 측벽 흐름은 魚族 遡上에 큰 도움을 주지 못하는 것으로 판명된다.

4. 檢討 및 討議事項

前項의 분석으로부터 魚道를 설계할 경우 고려되어야 할 사항은 다음과 같다.

- pool내의 흐름의 流線이 單純하여야 한다. 遡上 魚族은 흐름방향에 거슬러 진행하려는 습성이 있다. 따라서 흐름이 매끈하고 단순하여야 魚族이 쉽게 遡上할 수 있다. 만약 pool내에 渦流나 循環流가 형성되면 魚族은 이들 흐름에 거슬러 진행하므로 방향을 잃고 당황하게 되어 遡上 경로, 遡上 시간이 길어지는 등 遡上에 지장을 초래하게 된다. 그러므로 pool내의 흐름이 복잡해지지 않도록 유의하여야 한다.

- 隔壁을 越流하는 흐름의 流速은 遡上 魚族의 적정流速 범위를 넘지 않아야 한다.

- 魚道內 토사 퇴적이 되지 않도록 유의하여야 한다.

상기 사항을 고려하여 새만금지구에 설치되는 魚道の 각 構造物에 대해 검토하면 다음과 같다.

가. 潛孔 設置에 대한 檢討

潛孔 설치의 목적으로는 魚道 바닥에 쌓인 토사의 除去와 장애의 遡上을 들 수 있다.

첫째 목적의 경우, 堆積 토사의 제거는 圖 -6과 같이 潛孔을 對角線 방향으로 설치한 경우 潛孔이 설치된 부분의 放流部만 토사 제거가 가능하나 방류부 이외의 지점은 토사 제거가 불가능하며, 흐름이 分離된 지점에서는 오히려 토사퇴적의 逆效果를 야기시킬 수 있다. 한편 圖 -6(b)와 같이 潛孔을 一直線으로 설치할 경우는 퇴적 토사의 제거 효과는 있으나 潛孔에서 분출된 흐름이 약해지기 전에 그 다음의 潛孔으로 流入되므로 흐름이 가속되어 接近 流速이 커져 魚族의 遡上에 좋지 못하다. 새만금 지구의 경우 토사퇴적이 예상되므로, 潛孔 설치로 인한 토사퇴적 제거효과는 불가능하며 퇴적 방지를 위한 별도의 대책이 있어야 한다.

둘째 목적의 경우, 장애의 遡上은 潛孔에서 분출되는 흐름의 流速이 $V = 1.0\text{m/s}$ 를 넘으므로 遊泳力과 跳躍力이 약한 장애에게는 潛孔을 통한 遡上이 불가능하다.(장애의 적정 流速은 $V = 0.5\text{m/s}$ 로 알려져 있다) 潛孔으로부터의 噴出流를 완화시키기 위해 방류부에 자갈, 脚柱 등의 구조물을 설치하기도 하나 이 경우 구조물 사이에 異物質이 끼어 유지관리에 도 좋지 않으며 국부적인 흐름으로 인해 渦流가 발생하고 流速이 빨라질 경우가 있으므로 설치하지 않은 것이 좋다. 본 새만금 지구는 별도로 장애의 遡上을 위한 장애魚道가 설치되어 있으므로 의미가 없다. 또한 潛孔 설치로 인해 흐름의 氣泡領域이 확대되고, 循環流, 渦流 등이 형성되어 魚族의 遊泳범위, 행동경로가 길어지고, 遡上시간이 늦어지므로 潛孔 설치 는 신중을 기하여야 한다. 만약 潛孔을 설치할 경우는 다음과 같은 사항을 고려하는 것이 좋다.

- 1) 潛孔 설치는 바닥을 향해서 경사지도록 함으로써 土砂제거의 효과를 기하도 록 한다.
 - 2) 潛孔의 噴出口를 入口部보다 넓게 함으로써 擴大 形狀(expansion type)을 갖추도록 하여 분출류의 流速을 감소시키도록 한다.
- 상기 사항을 고려한 潛孔 設置 例는 圖 -7에 나타나 있다.

나. 側壁 홈 設置에 대한 檢討

魚道 측벽에 홈을 설치하는 목적으로는 측벽부근의 流速을 완화시켜 魚族의 遡上을 용이하게 함에 있으나 3.나 항에서 언급하였듯이 流速의 감소 효과가 없으므로 魚族의 遡上에 도움을 주지 못하며, 이끼등의 부유물이 끼어 維持管理에도 문제점이 있다.

한편 측벽에 홈 대신 突出部를 설치하면 흐름은 돌출부가 설치된 側壁 근처에서 隔壁 중앙부를 향해 흐르게 되고, 따라서 측벽 근처에서는 흐름의 힘이 작아지며 流速도 느리게 된다. 이 경우 魚族은 流速이 작은 측벽 근처에서 도약, 遡上하므로 遡上이 쉬어진다. 圖 -8은 측벽 돌출부 설치에 따른 흐름상태 및 魚族의 遡上 효과를 나타내고 있다.

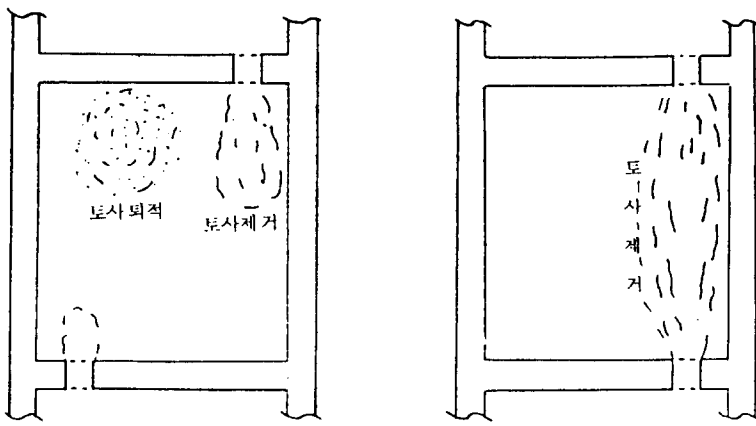
한편 隔壁을 越流하는 흐름의 流速분포는 圖 -5에서도 나와 있듯이 魚族의 적정 流速 범위를 넘으므로(한계 流速 범위는 넘지 않음) 遡上魚族은 流速이 작은 측벽 근처에서 도약하게 된다. 따라서 圖 -8과 같이 측벽에 돌출부를 설치함으로써 流速의 緩和效果를 한층 기할 수 있어 遡上을 더욱 쉽게 할 수 있다. 돌출부의 材料는 자갈등으로 하되 側壁의 隔壁地點에 가장 큰 것을 부착시키고, 隔壁의 上流部 약 1m 地點까지 자갈을 3~4군데 부착시키는 것이 좋다.

다. 土砂 堆積 防止를 위한 構造物의 檢討

새만금 地區는 토사 퇴적이 예상되므로, 魚道 內에 토사가 퇴적되지 않도록 대책을 講究하여야 한다. 魚道 pool 內의 토사 제거 대책으로는 人力이나 機械에 의한 방법은 적절치 못하고, 가능하면 自動除去 方式 또는 堆砂되지 않도록 하는 구조로 설계하는 것이 바람직하다. 圖 -9는 퇴적된 토사를 除去할 수 있는 한 가지 방법으로서 上·下 2段式 垂直移動 gate를 나타내고 있다. 이 방법은 平常時에는(a)와 같이 下端 gate를 고정시키고 上端 gate를 可動시켜 越流水深 調節 機能을 갖추면서, 洪水時에는 (b)와 같이 상단 gate를 고정시키고 하단 gate를 열어 gate 下部로부터의 放流水에 의한 flushing 효과로 퇴적된 토사를 제거할 수 있다.

라. 장어魚道 入口部에서의 돌망태 設置에 관한 檢討

새만금지구 장어魚道 바닥에는 유영력, 도약력이 약한 장어의 遡上을 목적으로 流速감소를 위한 돌망태가 설치되어 있으며, 이 돌망태는 魚道 入口部까지 연장 설치되어 있다. 한편 魚道 入口부에서의 돌망태의 法面 처리는 傾斜가 아닌 鉛直으로 되어 있다 (圖 -10참조). 이 경우 돌망태가 설치된 경계지점에서는 흐름 단면이 갑자기 변하므로 急變 지점에서는 그림



(a)

(b)

(a) ; 잠공을 대각선 方向으로 設置하였을 경우
 (b) ; " 일직선 方向으로 " "

Fig. 6 잠공 設置에 따른 토사 거동상태

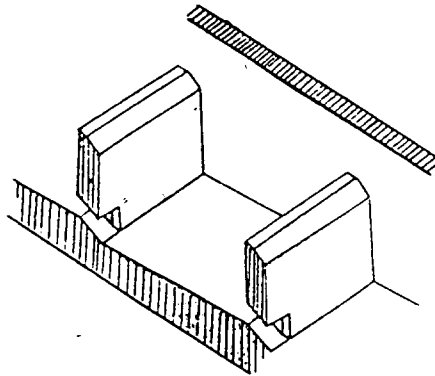


Fig. 7 계단식 魚道の 잠공 設計 例

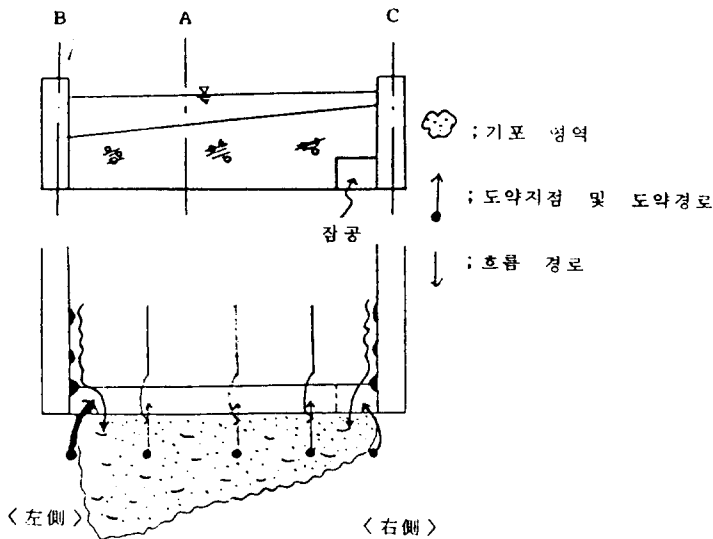
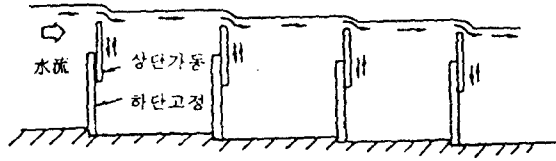
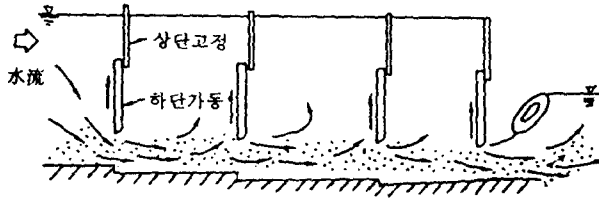


Fig. 8 돌출부 설치에 따른 흐름상태 및 어족의
 소상효과

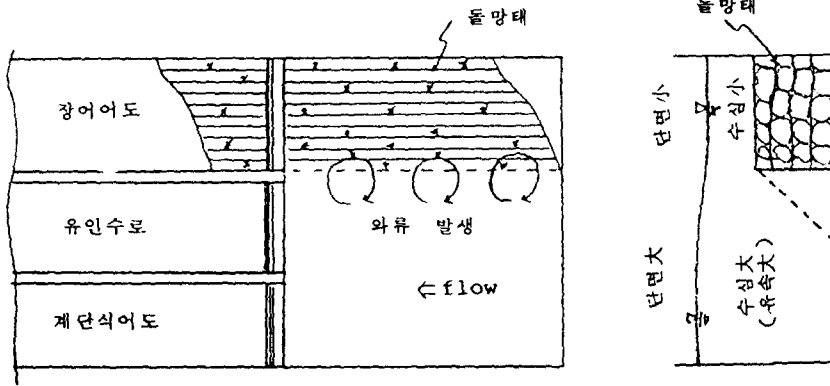


(a) : 정상시 水門作動



(b) : 洪水時 水門作動

Fig. 9 上·下 2 단식 gate



(a) ; 평면도

(b) ; 단면도

Fig. 10 돌망태 설치된 경계지점에서의 와류발생

과 같이 渦流가 생길 수 있으며 장애의 遡上에 영향을 미칠 수 있다. 즉, 圖 -10의 (b)에서 보는 바와 같이 돌망태 설치 지점은 水深이 낮아 流速이 느리고, 돌망태가 설치되지 않은 지점은 水深이 깊어 流速이 빠르다. 따라서 경계 지점에서는 流速의 차이에 따라 시계 방향의 와류가 발생될 소지가 있으며 이로 인해 遊泳力이 약한 장애에게는 遡上에 지장을 가져올 수 있다. 따라서 돌망태 법면 처리를 鉛直대신 圖 -10(b)의 점선과 같이 傾斜로 처리함으로써 流速을 서서히 변화시켜 와류가 발생되지 않도록 하는 것이 좋다. 법면 경사는 現地 與件과 誘引水路의 유인효과를 감안하여 결정하되, $S = 1 : 1$ 로 하는 것이 좋다.

마. 親水 概念을 고려한 構造物 設計

최근의 水工 구조물의 설계는 親水 개념을 도입하여 좀더 친근하고 쾌적한 環境 造成을 목적으로 하고 있다. 본 새만금 魚道 또한 人間에게 친숙한 느낌을 갖고 遡上魚族의 種類, 수효, 生態와 遡上모습을 관찰할 수 있도록 魚道에 觀察室을 갖추는 것도 좋은 방안이다. 관찰실은 魚道 維持管理를 위한 기능을 갖춘, 목적으로 병행할 수도 있고, 誘引水路에 관찰실 기능을 갖출 수도 있다. 觀察室로는 階段式 魚道 측벽을 두께 10mm의 強化 glass를 설치함으로써 內部의 魚族 遡上을 관찰할 수 있는 예가 많다.

5. 結論

이상과 같은 魚道 수리시험에서 얻어진 결론은 다음과 같다.

가. 魚族의 遡上은 落下流 상태보다는 表面流 상태가 바람직하다. 내수위가 관리 수위를 유지하면 魚道를 통한 흐름은 표면류 상태를 유지한다.

나. 隔壁을 越流하는 흐름의 流速은 관리수위 상태에서 遡上 한계 流速에 미치지 않으나 適正 流速 범위를 초과한다. 이 경우 魚族은 流速이 작은 側壁부근에서 遡上한다. 따라서 遡上하는 데 큰 지장은 없다.

다. 側壁에 설치된 홈을 돌출부로 바꿈으로써 隔壁 越流 流速을 줄이고 魚族의 遡上을 용이하게 할 수 있다.

라. 潛孔 설치로 인해 흐름이 복잡해지고 遡上에 지장을 주므로 신중을 기하여야 하되, 潛孔을 설치할 경우는 바닥을 향해 경사지도록 하고 噴出口를 入口部보다 넓게 한다.

마. 새만금지구는 土砂 堆積이 예상되므로 上 . 下 2段式 垂直移動 gate등의 퇴적 방지 구조물을 설치하는 것이 바람직하다.

바. 장애 魚道 입구부의 돌망태는 法面 처리를 경사지게 함으로써 渦流 발생을 막고 魚族 遡上에 지장을 주지 말아야 한다.

사. 魚道에 觀察室을 설치하여 人間에게 친숙한 느낌을 주고, 遡上魚族의 種類, 遡上모습, 生態 등을 조사하며 兒童에게 自然學習의 기회를 갖도록 하는 것도 좋은 방안이다.

아. 魚道는 陸地側에 설치되므로(새만금 魚道の 경우 섬에 설치), 새들에 의한 魚族의 피해를 고려하여 그물망을 설치하는 것이 좋다. 또한 魚道 바닥의 색깔을 通過 魚族의 색깔과

같이 함으로써 保護色 기능을 갖추고 빛(햇빛 또는 가로등)의 反射로 인해 魚族의 遊上에 지장을 주지 말아야 한다.

參考文獻

- (1) Katopodis, C. 1987. A Guide to Fishway Design, Internal report, Canada Department of Fisheries and Oceans.
- (2) Nakamura, S. and Yotsukura, N. 1987. On the Design of Fish Ladder for Juvenile Fish in Japan, Proc. of the International Symposium on Design of Hydraulic Structures, Colorado State Univ., Fort Colorado.
- (3) 中村中六.1991. 魚道の設計, 山海堂.
- (4) 農業振興公社.1986. 錦江(I)地區 大單位 農業綜合開發事業 魚道 研究報告書.
- (5) 農漁村振興公社.1991. 淡水湖의 魚道利用에 關한 研究.