長良川의 河口堰

朴 相 吉*

1. 머리말

일본은 하천의 상류부에 댐을 건설하여 치수를 위한 하천주변을 관리하여 오다가 1970년도 초반부터 각 유역 수계별로 하류부에 하구언을 건설하여 수계의 전 유역에 대하여 하천을 관리해오고 있다. 지금도 하구부에 건설중이거나 건설예정지등을 조사중이다. 현재 가동중인 하구언은 15개에서 20개 정도이고 크기는 소규모에서 중규모로서 우리나라의 낙동강 하구언과 같은 규모는 없고 이보다 적은 규모로서 건설하고 있다. 본인은 1995년 2월 9일에서 2월 15일 사이에 阪神 大地震의 현장 조사를 마치고 2월14일과 15일 名古屋大學 岩田 朗 敎授의 도움으로 長良川 河口堰을 견학하게 되었다. 가장 최근에 준공하게 될 하구언은 長良川의 河口堰으로서 1995년 4월초에 준공될 예정이었다. 長良川의 하구언의 위치는 행정구역상으로 좌안은 三重縣 桑名君 長島埴 駒江 155番地이고, 우안은 三重縣 桑名市 福島이다(그림1참조). 안내자는 계획단계에서 건설까지를 長良川河口展示館에서 수자원 개발공단 長良川 河口堰 건설사무소 소장인 藤村芳伸氏가 상세하게 설명을 해주었고, 현장의 안내는 조사설계 과장인 住谷昌宏氏가 상세한 안내를 하였다. 현장을 방문할 시점에는 하구언 공사는 100%를 완료하고 실험가동을 하고 있었고, 마지막 부대설비 및 미관공사 정리작업을 실시하고 있었다. 본인이 長良川의 河口堰을 견학하려는 의도는 인근 주민들의 수많은 반대에도 불구하고 일본이 국가의 자존심을 걸고 G.N.P 30,000 달라 시대에 완성시킨 長良川의 河口堰 工事의 特徵은 무엇일까?에 초점을 맞추었다. 특히, 정부적인 차원에서 세계적인 환경보전를 주도했고, 환경보전을 주무기로하여 하구언의 반대를 주장해오던 환경보전 단체들을 설득했던 구상이 하구언의 어느 곳에 표현되어 있는가를 찾기 위하여 환경보전 측면에서 검토하였다.

2. 長良川이란?

일본에 존재하고 있는 長良川이 어떠한 하천인가?라는 의문에 이해를 돕기 위해서 우리 나라의 낙동강과 비교하여 長良川의 규모를 밝히기로 한다. 그림1은 長良川河口에 위치한 河口堰의 位置圖이다. 우리는 TV나 책자를 통하여 강에서 돛단배를 띄어 놓고 은어를 잡는 광경을 보는 경우가 있다. 이 강이 바로 長良川이다. 長良川은 岐阜縣의 大日岳의 골짜기에서 發源하여 伊勢灣에 이르기까지 유로 연장이 166km이고 유역면적은 1,985㎢으로서 일본에서는 대체로 큰 하천으로 취급하고 있다. 이에 비하여 洛東江은 유로 연장이 509.7km이고 유역면적이 23,326.30km 이다. 즉 洛東江이 長良川의 流路延長보다 약 3배정도 길고, 유역면적은 약 12배에 달한다. 강의 상류에 있는 댐에서

* 부산대학교 토목공학과 부교수

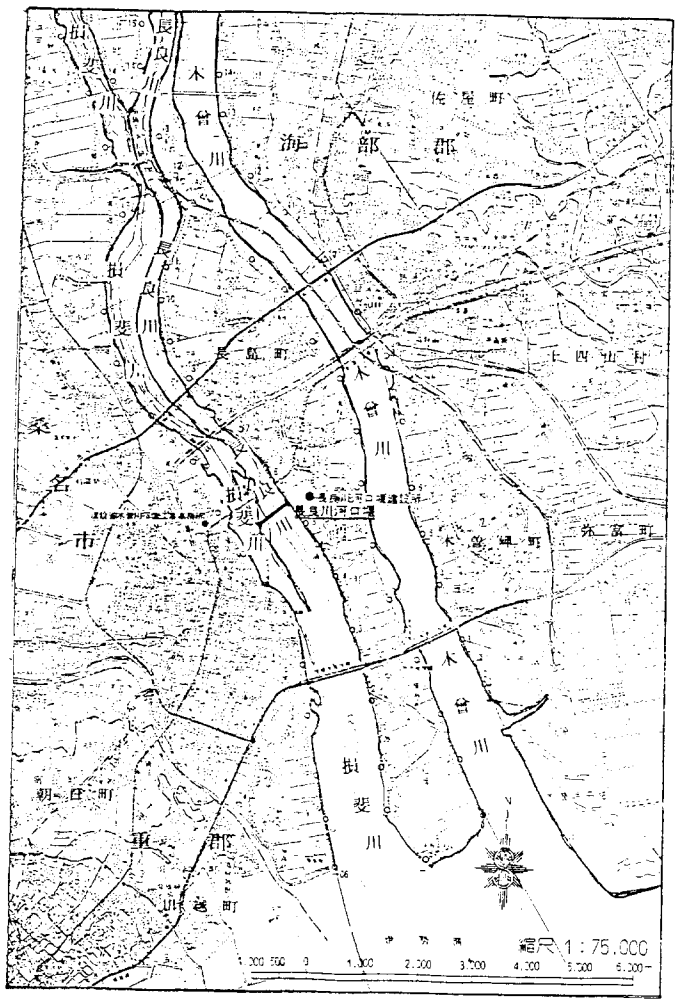

그림 1 長良川 河口堰 位置

표 1 洛東江과 長良川의 特性

구 분		洛東江	長良川	비 고
하구언상류부	유역면적	23,326(㎢)	1,985(㎢)	1)낙동강 상류댐은 대규모이나, 長良川 상류댐은 소규모 2)長良川 수해의 위험을 받는 인구는 약 70만명 달함
	유로연장	510(km)	166(km)	
	유역평균폭	45.77(km)	11.96(km)	
	형상계수	0.090	0.072	
	상류부 댐의 개수	5개	3개	
하구언하류부	하구언 설계홍수량	18,300(m^3)	8,000(m^3)	1)하구에서 상류로 30km까지 준설 2)준설의 깊이는 현하상에서 1.5m 3)염수침입 길이는 30km
	하구언의 설치지점	하구로부터6.3(km)	하구로부터6.0(km)	
	수문의 개수	10門(순경간47.5m)	10門(순경간45.0m)	
	갑문 및 어도	갑문:1문 어도:2개	갑문:1문 어도:4개	
	하구언 준공일자	1987년 5월	1994년 4월	

500m³/sec에 달하는 홍수조절능력을 감안한다면 河口堰의 最大 設計洪水量은 長良川은 8,000m³/sec으로 설계되었다. 낙동강 하구둑은 18,300m³/sec로 설계되어 설계 홍수량이 長良川의 河口堰경우보다 2.3배 정도 크다. 長良川이 유역면적에 비해서 설계홍수량이 洛東江 보다 높은 이유는 낙동강 유역보다 다우지역에 속해있고, 長良川 유역의 유로연장이 짧아서 하구에 도달되는 홍수도달 시간이 짧기 때문이다. 그리고 이미, 하천의 제방을 인위적으로 개수 축조하여 하천의 폭에 비하여 홍수량의 통과수심이 매우 깊다. 표1은 長良川의 특성을 알기 위해서 우리나라의 낙동강과 비교한 것이다.

3. 長良川 河口堰

3.1 事業의 目的

長良川 河口堰 建設事業의 目的은 治水側面에서 河床을 大規模로 浚渫해서 計劃高水流量 7,500m³/sec를 安全하게 流下시키는 同時에 流水의 正常的인 機能의 維持를 갖게 하자는 데 있고, 利水次元에서 河口堰 上流에 淡水化시킨 물의 一部를 隣近都市에 都市用水로서 22.5m³/sec를 供給하므로서 지금까지 濃尾平野에서 地下水를 過多하게 뽑아 사용하므로서 발생했던 濃尾平野의 地盤沈下를 방지하는데 있다.

3.2 治水의 計劃과 浚渫

長良川의 下流部는 明治時代에 당시의 홍수량에 맞는 계획홍수유량을 4,166m³/sec로하고, 그후 다시 4,500m³/sec로 개정하여 개수되어 진행되어 왔었다. 1959년의 伊勢灣에 내습한 伊勢灣 颱風에 의해 발생한 홍수와 1961년에 발생한 홍수에 의해서 최대홍수량이 8,000m³/sec에 달했다. 따라서 계획홍수량 8,000m³/sec이 현재까지 정해져 왔고, 이중 500m³/sec은 상류댐에서 제어를 하며 나머지 7,500m³/sec 은 하구언을 축조하므로서 현재의 하상을 1.5m정도 준설하여 조절능력을 갖게 하는 것이다. 長良川 河口部 개수방법으로서 세가지 방안이 제안되었다.

첫째로 현재의 제방을 높이기 위해서 현재의 제방위에 인위적으로 제방을 축조하는 방안, 둘째로 현재의 제방 위치를 뒤로 후퇴시키면서 하천의 폭

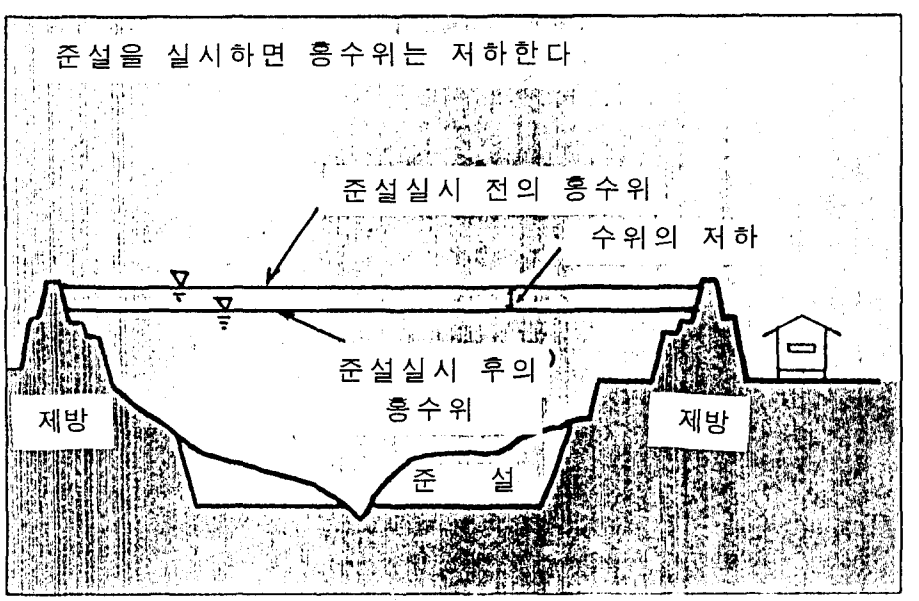

그림 2 長良川의 橫斷面圖

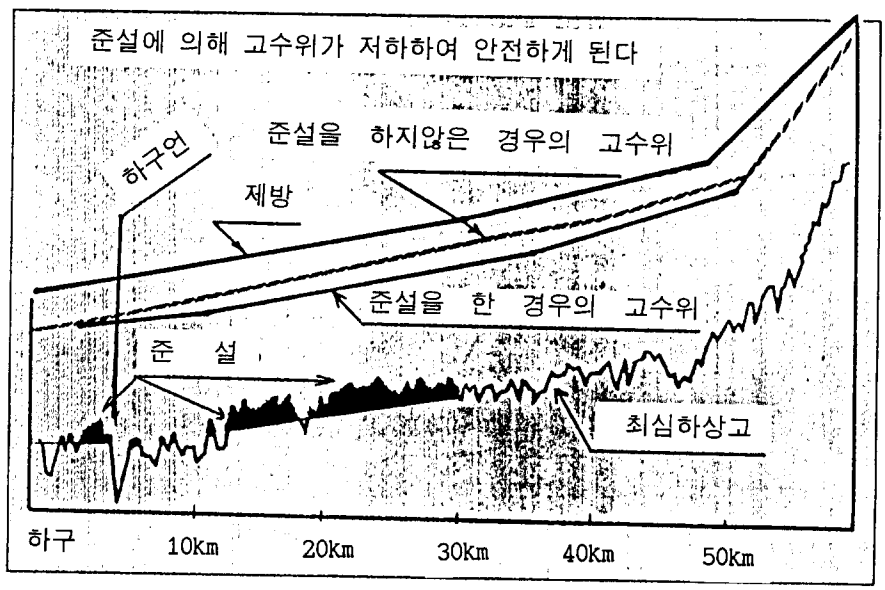

그림 3 長良川의 縱斷面圖

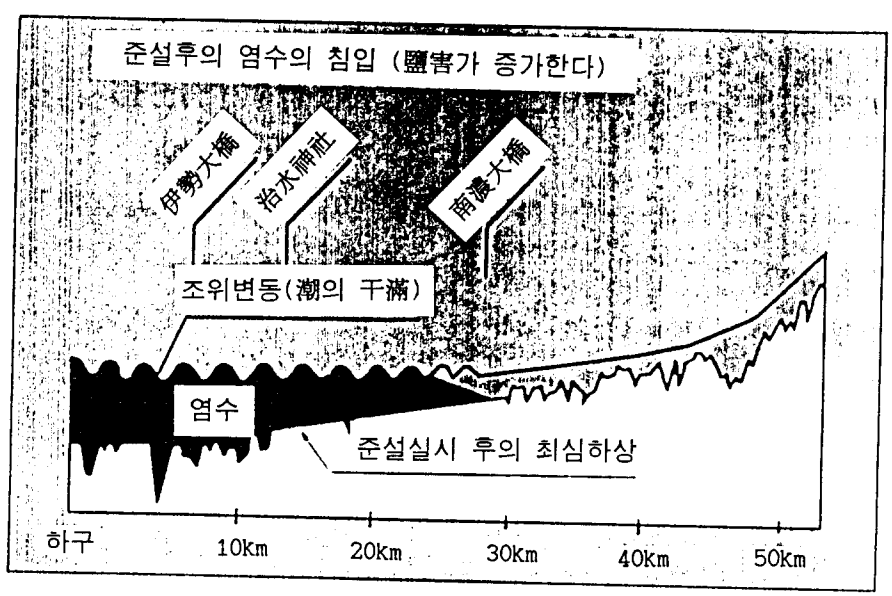

그림 4 준설로 인한 염수의 침입

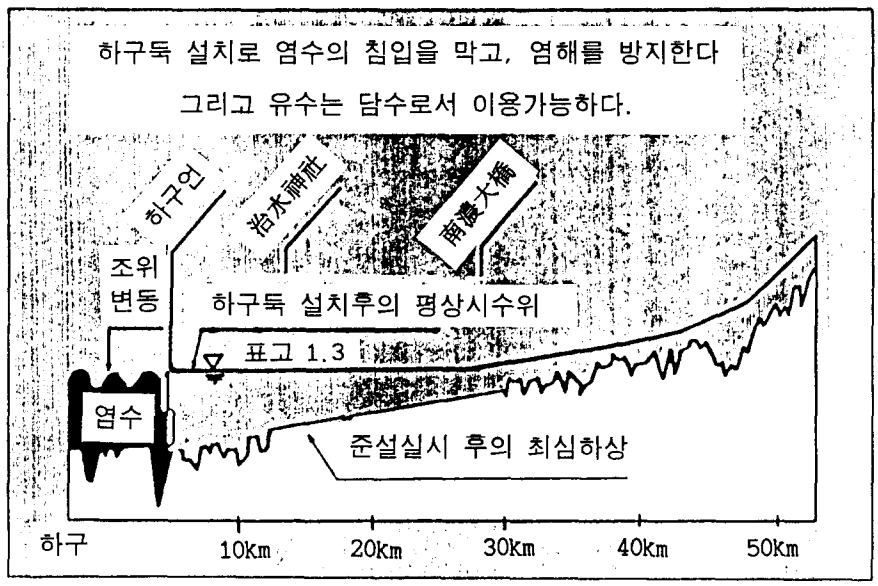

그림 5 하구언 설치로 인한 염수차단효과

을 넓히는 방안, 셋째로 하천의 모든 구조물은 그대로 두고 하상을 준설하는 방안 등이 수리모형실험과 계산 등에 의해서 검토되었다. 검토결과 홍수시에 홍수위를 낮추면서 하천주변을 따라서 산재해 있는 가옥에 피해를 주지 않는 방안으로서 셋째 방안이 채택되었다. 그림2는 長良川의 横斷面圖의 일례를 표시하였다.

준설에 의한 홍수위의 저하를 단적으로 표시하고 있다. 하상준설의 범위는 하구에서 30km이며, 준설된 토사는 제방의 복구 등에 사용되었다. 이러한 준설로 인하여 7,500 m^3/sec의 홍수량이 현재수위보다 1.5m 정도 낮게 흐르므로서 岐阜市 하류의 제방 부담이 크게 감소하여 홍수에 대한 위험이 없어지게 되었다. 그림3은 하구에서 30km지점까지의 장양천의 종단면을 표시한 것이다. 그림에 의하면 30km가지 일률적으로 준설하는 것이 아니고 부분적으로 준설을 실시하였다. 하상을 준설한 준설량은 상당량으로 추정되며, 준설된 부분에 퇴적이 될 때까지 걸리는 기간이 30여년간의 시간이 걸리는 것으로 건설사무소에서는 예측하고 있었다. 이러한 하상의 준설로 인하여 문제가 발생되는 것이 長良川의 鹽水化 현상이다. 長良川 하상을 준설하기 이전에는 염수의 침입이 하구에서 15km지점으로 국한되었으나 하상의 준설로 인하여 하구에서 30km 지점까지 확대되어(그림4참조) 長良川 河口部는 영구히 염수화 현상을 벗어날 수 없게 되고 이로 인하여 염수의 지하수 침투가 발생되어 하천주변의 농경지에 염해를 주게 되는 결과를 초래하였다. 그림4는 준설후의 염수침입 범위를 표시하였다. 그리고 그림5는 하구언을 설치하므로서 염수침입을 방지하는 효과를 표시한 그림이다. 이와 같은 회복불가능한 염해를 방지하고 흐름의 정상적인 기능을 유지하여 국토의 보전을 기하기 위해서는 평상시는 염수의 침입을 차단하고 홍수시는 홍수량을 안전하게 유하시키기 위해 長良川의 河口堰이 필수적으로 건설되어야 했다. 이와 같은 논리의 하구언 건설사업은 외국 선진국가에서 흔히 볼 수 있는 사례이고, 장래에도 동일한 이유에서 건설될 것이며, 우리나라도 이러한 상황의 견지에서 건설되었다고 생각된다.

3.3 물의 이용과 지반침하 방지

長良川 하구언 건설사업은 木曾川 水系의 "水資源 開發 基本計劃"의 閣議決定에 기본을 두고 실시되고 있다. 1987년 6월에 閣議 決定된 "제4차

全國綜合開發計劃"을 근거로 하여 국토청이 제안한 "전국종합 수자원계획(Water Plan 2000)"과 건설성에서 策定한 "21세기를 향한 수자원 개발계획"에 준하여 長良川 河口堰은 중요한 물의 공급 시설로서 건설의 중요성을 재확인하였다. 또 지하수 개발로 인한 지반침하가 발생되어 長良川의 河口堰에서 취수한 물을 지하수 대용으로 이용하여 지반침하의 진행을 방지하고자 한다. 지반침하가 진행되고 있는 곳은 濃尾平原이다. 濃尾平原은 木曾三川과 庄內川에 의해서 만들어진 평야로서 면적이 약 1,300㎢이며 지하수의 개발로 인하여 지반침하가 진행되고 있으며 평균해수면보다 낮은 저지대가 270㎢에 달하고 있다. 즉 0m지대가 일본에서 가장 넓게 분포하고 있는 지역이다.

4. 長良川 河口堰의 特性

4.1 환경조사

長良川의 河口堰은 수해의 위협을 받고 있는 長良川을 따라서 살고 있는 주민 67만명의 생명과 재산을 보호하기 위하여 없어서는 안될 시설물인 동시에 인근의 도시권(中部圈)의 발전을 위하여 필요한 수자원의 공급을 위한 중요한 시설물이다. 長良川 河口堰의 건설을 하기 위해서 사업을 착수하기 이전 1963년에서 1966년까지 4년에 걸쳐서 약 90명의 전문가들에 의하여 철저한 환경조사를 실시했다.그 결과와 별도의 연구를 통하여 이 강에 살고 있는 물고기들의 성격을 파악하여 이들이 하구언을 자유롭게 왕래하면서 원만한 생활을 할 수 있도록 魚道設置에 집중적인 노력을 기울였다. 환경조사는 수많은 분야에서 실시되었으나 기본적인 항목을 간추려 보면 우선 流況의 변동에 의한 수질의 변화를 주시했다. 하구언을 중심으로 약간의 변화가 예상되는 것은 취수에 의한 것이다. 하구둑 하류에서 하천유량의 감소율은 취수에 의해서 연평균 14%로 예측된다. 河口堰에 의해서 발생되는 湛水域은 물의 유입과 방류가 계속적으로 일어나고 있으므로 정상적으로 물이 흐르는 하천과 거의 변화가 없다고 관리소측은 판단하고 있다. 하상의 준설및 제방둑 쌓기에서 하구언 상류에서는 유속이 감소되어 부유물질의 침전으로 인한 퇴적이 예측되지만 출수기에 수문을 개방하므로서 퇴적물은 물과 함께 압출되어 퇴적이 없는 하상을 유지하리라 판단하고 있다. 패류중에서 염수역에 서식하는 패류는 하구언의 상류에서는 생식과 번식이 거의 불가능하고 하류부에서는 준설에 의해서 생식환경이 변화하므로 약간의 악영향이 예측된다. 담수역에서 서식하는 패류는 하구언의 상류에서 실시한 준설등에 의해서 환경의 변화로 인하여 약간의 악영향이 예측되지만 생식역의 확대로 인하여 영향은 매우 적은 것으로 판단하고 있다. 어류에 대해서는 집중적인 연구를 통하여 하구언을 설치하여 河道를 차단해도 魚道를 설치하여 영향을 최소화 시켰다.

4.2 어업대책

일본에서 長良川의 상류와 河口域을 포함한 전지역이 수산자원의 寶庫로 알려진 곳이다 長良川의 하구언을 건설하므로 인해서 수산자원에 미치는 영향을 생각하지 않을 수 없다. 이러한 악영향을 될 수 있는 한 적게 하기 위해서 여러가지 측면에서 검토가 되었다. 長良川 河口堰의 魚道는 여러가지 형태로 만들어져 있는 것이 長良川 河口堰의 特徵이다. 주민들과 환경보존 단체들의 많은 반대에도 불구하고 하구언을 끝까지 완성시킬 수 있었다는 주된 내용은 어류들이 하구언을 왕래할 수 있는 魚道를 여러 측면에서 고안하여 현실화시킨 것이다. 은어나 송어와 같이 바다에서 강으로 거슬러 올라오는 물고기들에게 될 수 있는 한 통행에 지장을 주지 않도록 全水門을 2단 수문으로 하고 좌우안에 각각 呼水式魚道, Lock式 魚道을 설치했고 특히, 수문을 인위적으로 조작하여 물고기들이 하류에서 상류로 거슬러 올라갈 수 있는 시설을 갖추어 두었다.

4.3 魚道의 種類

사진 1은 長良川의 河口堰 構造物 全景이다. 안내자와 함께 魚道를 견학하기 위해 현장으로 가고 있다. 長良川 河口堰을 건설하면서 어도에 많은 관심을 쏟은 흔적으로 몇 개의 어도를 소개하고자 한

사진 1 長良川 河口堰 全景

사진 2 하구언 수문(2단식)

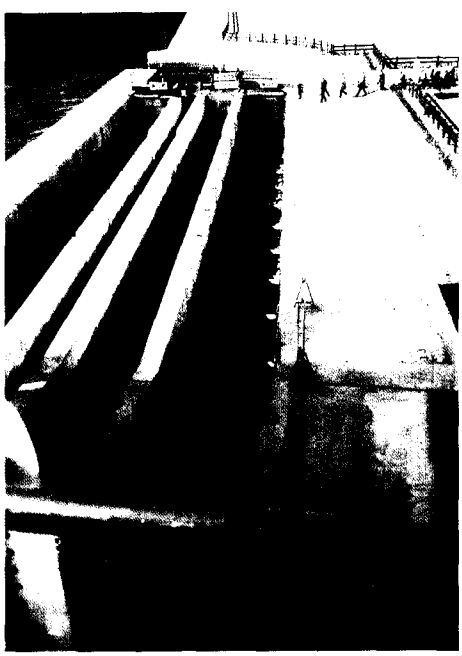

사진 3 呼水式 魚道

사진 4 細流 魚道

다. 첫째로 長良川 河口堰의 전수문은 2단식 수문을 채용하고 있고 평상시에 물은 수문의 윗부분을 월류하여 흐른다. 따라서 만조시에는 하류의 수위가 높아져서 상하류의 수위차가 적어 전수문을 통하여 물고기가 상류로 이동 가능하게 하였고, 수문조작으로 은어등을 어도로 유도해서 하구언을 통과하게 하였다. 또, 하단의 수문을 높혀서 방류하므로서 저층의 염분의 농도를 희석시켜 패류나 새우등의 생태환경을 잘 만들어 줄 수 있다. 사진 2는 2단 수문중에서 상단수문은 완전히 물밑으로 침수되어 있고, 하단수문은 상단수문의 위로 약간 노출되어 있는 상태이다.

둘째로 呼水式 魚道란 魚道의 중앙부분에 呼水式 小水路를 만들어 매우 빠른 속도로 물을 흘러 보내 魚道의 입구에서 물이 떨어지면서 확산하는 낙차소리와 물이 빠르게 흘러가는 소리를 크게하여 물고

기를 모이게 한 후 물고기들의 성질(물살이 거센 부분을 타고 물살을 차고 앞으로 향해서 돌진하는 성질)을 이용하여 물고기가 양쪽 魚道를 따라서 하구언의 상류로 올라갈 수 있는 수로를 말한다. 呼水式 魚道는 계단식 魚道와 呼水式 小水路를 조합한 것이다. 魚道의 隔壁間 단차를 10cm, 격벽간의 길이를 3m로하고 魚道 전체의 경사를 1/30로 완화하여 여러 종류의 물고기가 이동할 수 있도록 고려했다. 또, 상류부분의 수위차가 0.8m에서 1.3m로 변화해도 魚道내의 격벽의 높이가 조절될 수 있도록 상류측에 10개의 격벽을 수직으로 이동하는 구조로 하였다. 사진3은 강의 양안에 설치된 呼水式 魚道를 사진1의 도로에서 촬영한 것이다. 사진의 가운데에 있는 두개의 적은 수로는 물을 매우 빠르게 보내면서 소리를 내게하여 물고기들을 모이게 하는 소수로 장치이고 양쪽에 있는 수로가 물고기들이 하류에서 상류로 거슬러 올라가는 魚道이다.

셋째로 Lock식 어도는 상류측과 하류측의 수문조작에 의해서 물의 수위를 조절하여 운하의 갑문에서 선박을 통과시키는 요령으로 은어와 송어를 통과시키는 어도이다. Lock식 어도는 상하류 두곳에 2단식 수문을 사용해서 물고기들의 이동을 돕는 구조물 어도로서 조작 방법에는 두가지가 있다. Under Flow의 조작을 통하여 이동시킬 수 있는 물고기는 강의 바닥에 붙어서 기어서 이동하는 패류와 게종류 등이있다. 먼저 하류측의 수문을 올려서 물고기들이 Lock실내로 들어오게 한후 다음에 하류측의 수문을 내리고 상류측의 수문을 올려서 Lock실내에 있던 물고기들이 상류로 자유롭게 이동시키는 방법이다. Over Flow조작을 통하여 이동시킬 수 있는 물고기는 수표면에서 수영능력이 탁월한 물고기들이다. 먼저 하류측의 수문을 낮추어서 하류부와 Lock실내의 수위차를 적게 한 후 Lock실내로 들어오게 한 후 하류측의 수문을 올려서 Lock실의 수위와 상류의 수위차를 적게 하면 물고기들은 수문을 타고 넘어서 상류로 이동시키는 방법이다.

넷째로 細流魚道는 하구언의 우안월류제에 설치한 길이 300m 폭 15m(수면폭은 3m)의 어도로서 자연의 소하천과 같은 물의 흐름상태를 만들어서 다양한 어류들이 하류에서 상류로 올라올 수 있도록 만든 어도이다. 수로경사를 완만하게 하고 하상에 자연석(둥근 자갈)을 깔아서 고기들이 휴식을 취할 수 있는 휴식장소와 피난장소로 제공하는 어도이다. 이 어도를 이용하는 물고기의 종류는 수영의 능력이 적은 작은 물고기들, 조개류, 새우등과 水泳能力이 강한 은어들도 이용할 수 있는 어도이다. 사진4는 細流魚道로서 바닥에 옥석을 깔고,중간중간에 물고기의 피난처를 만들어 놓았다.

다섯째로 呼水式 魚道의 일부분의 계단바닥에 자연석을 깔아서 만든 자연석 자갈어도와 소수로측의 일부에 적은 계단을 주어서 만든 데니루(デニール)식 어도가 존재하고 또, 인위적으로 미끄럼식 수문(Slide Gate)을 상하로 조절하여 어도에서 수위를 조절할 수 있는 장치도 만들어져 있다.

5. 漏水對策

현재 長良川 하류부의 수위는 조석에 의해서 결정되지만 하구언의 상류부는 滿潮에 가까운 수위를 갖는다. 이러한 수위의 영향을 받는 범위는 하구에서 약25km지점까지이며 이 부분에 하천의 고수부지(Blanket)를 폭 50m에서 70m로 정리하여 흐름을 원만하게 하여 제방의 붕괴를 막고 동시에 홍수 등에 의하여 수위가 堤內地盤보다 높아지면 압력차에 의해서 침투현상이 발생되어 堤內地에서 지반약화 현상이 발생되는 것을 방지한다. 사진 5는 누수대책으로서 고수부지를 정리하는 것을 촬영한 것이다. 우리나라에서는 자연환경을 그대로 보전하는 것이 매우 중요한 사실이지만 여기서는 자연보전 보다도 누수대책이 더욱 중요하게 평가되고 있다. 또 평상시는 堤內地에 침투해 오는 물은 堤脚水路, 承水路을 설치해서 배수시키고 동시에 제내지의 부분에 배수로를 개수정비하고 펌프장을 설치 개량하여 배수능력을 높여 지하수압이 높게 되는 현상을 방지한다. 물론 소홍수시에 고수부지까지는 수위가 상승하지 않기 때문에 대홍수를 제외하고는 지역주민의 위락시설로서 이용이 가능하다. 이밖에도 공사로 인해서 하천에 미치는 영향을 충분히 검토하여 발생가능한 모든 조건을 제시하여 주민이나 환경보호단체들의 질문에 직접 대답할 수 있는 자

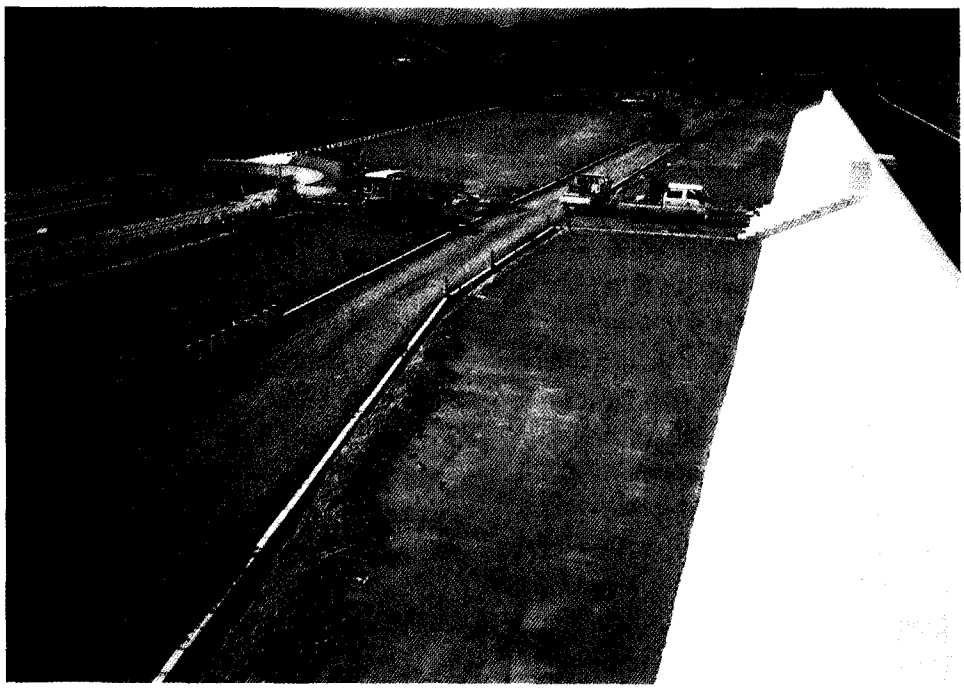

사진 5 누수대책을 위한 고수부지정리 및 제방공사

료로서 하구언 모형을 제작하여 비치해 두어 질문자의 의문이 스스로 풀리게끔 자료실이 정리되어 있으며, 공사가 실시되는 기간에도 누구든지 절차를 통하여 방문하면 의문에 답을 줄 수 있는 공사현장의 개방성이 이들을 설득시킬 수 있는 실마리가 된 것 같다.

6. 맺는 말

환경문제가 세계적으로 대두되고 있는 요즘에 일본이 사력을 다하여 하구둑을 건설시킨 주된 목적은 어느 나라 할 것 없이 모든 나라가 그렇듯이 수해로부터의 재난 방지와 담수의 이용에 목적이 있다. 이러한 목적을 달성할 수 있는 방안으로 제시된 내용이 자연에 주는 피해를 최소화 시키는 방안이 제시되었다고 생각된다. 즉 어업의 대책과 환경을 보전할 수 있는 방안이 제시되어야 주민들의 반대를 피할 수 있다는 것이다. 이런 점에서 長良川의 河口堰 건설을 진행시키는 데는 무척 힘든 고비가 있었고 이를 완성시키기 위해서 많은 노력이 숨어 있는 하구언이라 할 수 있다. 현재는 모든 면에서 마지막 정리단계에 있었고 완전 가동까지는 앞으로 풀어야 할 문제점도 있었다. 놀라운 것은 현재 흐르고 있는 하천수의 수질이 매우 양호한 상태였다. 그러나, 시간이 지나고 수문이 완전히 닫히는 순간부터 현수준의 생태계와 수질을 보전하기 위해서는 지금 보다도 몇 배의 노력이 요구될 것 같다. 우리도 우리가 사용하고 있는 물의 오염을 방지하기 위해서 기본계획 단계부터 건설까지 우리 손으로 철저한 조사와 연구가 수행되어야 한다. 그리고 우리의 현상태의 경제적 수준에서는 물의 오염을 줄이기 위하여 피나는 노력이 요구되는 시대이다. 끝으로 長良川 河口堰 축조로 인한 토사의 퇴적문제는 洛東江 河口둑의 토사퇴적의 범위를 벗어나기 어려울 것으로 추측되기 때문에 長良川 河口堰의 원만한 유지관리를 위해서는 洛東江 河口둑을 유지관리해 온 경험을 長良川河口堰 관리사무소는 간접적으로 체험해야 할 것이다.