

일본 카스미가우라 도수사업 현장

Kasumigaura Water Conveyance Project in Japan

김 태 철*, 남 상 운*, 김 대 식*, 김 진 수**, 홍 영 표***
 Kim, Tai Cheol, Nam, Sang Woon, Kim, Dae Sik, Kim, Jin Soo, Hong, Young Pyo

1. 머리말

농림부, 농업기반공사에서는 금강호 물을 도수하여 새만금호의 제염촉진 및 수질개선을 목적으로 금만연결수로의 건설을 계획하고 있다. 금만연결수로는 계획통수량 20m³/s, 연간 5억m³의 물을 도수하는 대규모 인공수로로서 건설에 따른 여러 가지 문제점이 예상되고 있다. 필자들은 새만금 친환경 연구사업 중 금강호물 도입에 따른 환경영향 연구를 수행하면서 2003년 6월 일본 국토교통성에서 추진하고 있는 카스미가우라(霞ヶ浦) 도수사업 현장을 방문하였다. 여기에서는 이 사업의 개요를 소개하고 금강호-새만금호 연결수로 건설 사업의 시행에 참고할 만한 내용을 고찰해 보았다.

2. 카스미가우라 도수사업의 개요

카스미가우라는 바다가 막혀 조성된 자연 호수로 넓고 얇은 것이 특징이다. 유역면적은 2,157 km², 호면적 220 km²(서포 172 km², 북포 36 km²), 평균수심 4 m, 최대수심 7 m, 총저수량 8.5억 m³, 연평균 유입량은 14억 m³이다.

유역내 토지이용은 2002년 현재 산림 20%, 논 21%, 밭과 과수원 15%, 시가지 14%, 호면 10%, 골프장 2%, 기타 18% 등이며 일본 제일의 연근 생산과 잉어양식으로 유명하고 유역내 인구는 96만명이다. 2002년 현재 카스미가우라에서 취수하

는 최대수량은 119 m³/s로 농업용수 87%, 공업용수 9%, 상수도용수 3%, 잡용수 1% 등으로 이용되며 계속되는 갈수 현상으로 이 지역 물 공급에 대한 카스미가우라의 역할은 더욱 커지고 있다.

호수가 많은 주민들에게 자연 친화적이고 아름다운 수변 공간을 제공하는 수단으로 되면서 카스미가우라의 수질정화가 중요한 이슈로 떠오르게 되었다. 국토교통성에서는 첫째 카스미가우라와 사쿠라가와(櫻川)의 수질정화, 둘째 토네가와(利根川)와 나카가와(那珂川)의 물 부족 피해경감과 하천환경개선, 셋째 카스미가우라와 나카가와와의 신규 사용 수량 확보 등의 목적으로 카스미가우라 도수사업을 1976년 실시계획조사 착수, 1985년에 착공하여 총공사비 1,900억엔 준공연도 2000년도로 시작하였으나 3차례 사업계획 변경으로 준공연도

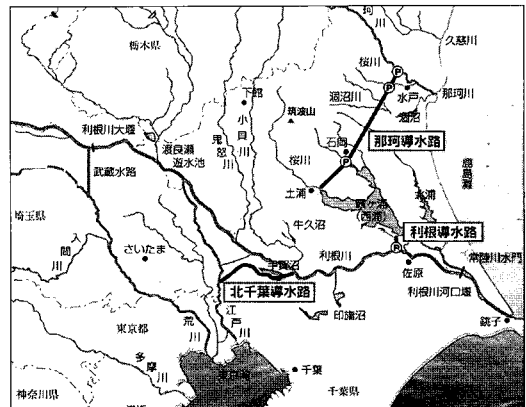


그림 1. 관동지방 용수공급 네트워크

* 충남대학교 농업생명과학대학(dawast@cnu.ac.kr)

** 충북대학교 농업생명과학대학

*** 국립중앙과학관 자연사연구소

가 2010년으로 연기되어 사업이 진행 중에 있다.

토네가와와는 유역내 인구 1,200만명, 나카가와와는 91만명(이바라키현)에게 수자원을 안정적으로 공급하는데 중요한 역할을 담당하고 있다. 산업발전과 도시화에 따라 물 수요는 크게 증가하여 2000년 현재 수도용수의 1/4 이 불안정(제한급수 또는 감압 공급)하게 공급되는 한편 하천과 호소의 수질은 악화되어 가용 수자원은 점점 더 부족해지고 있다. 즉, 수도권의 토네가와, 미토(水戸)시의 나카가와와는 최근 심한 갈수가 발생하여 취수를 제한해야 하는 일이 자주 일어나고 미토시를 흐르는 사쿠라가와와 수질이 오염되고 있다. 이와 같은 물 부족과 수질악화를 동시에 해결하기 위해 카스미가우라를 중심으로 토네가와와 나카가와 두 수계를 연결하여 물이 부족한 수계로 물을 서로 주고받으면서 두 수계의 수량부족을 해소하고 카스미가우라와 두 하천의 수질도 정화하는 목적으로 건설하는 대규모 사업이다.

이 사업은 상류의 댐(矢木澤, 湯西川, 五十里, 川治, 川俣, 奈良俣, 相俣, 園原, 草木, 南摩, 下久保 등)군, 중유역의 저수지, 호소개발, 하구언 등과 2000년부터 시작하는 北千葉 도수사업과 함께 관동지방 물 네트워크의 일부를 구성하고 있다.

3. 카스미가우라 도수사업의 목적과 효과

가. 수질정화

카스미가우라는 평지에 있고 수심이 낮으며, 유역이 커서 부영양화가 되기 쉬운 자연적 조건을 갖고 있으며, 유역의 생활 활동 증대에 따른 인위적인 부영양화로 오염이 촉진되어 왔다. 수질은 1970년대 후반부터 악화하여 1979년에는 COD값이 11.3 mg/L을 기록하였으나, 1980년대부터 종합적인 수질보전 대책을 취하여 최근에는 8 mg/L 전후를 유지하고 있다. 수질오염은 크게 생활하수, 공장폐수, 농지배수 등의 외부요인과 호소 저질(底質)의 용출과 이에 따른 식물플랑크톤의 증식과 같은 내부요인에 의한다.

수질대책으로서는 호소 부하량 중 큰 비중을 차지하고 있는 용출 부하량을 제거하기 위해 준설선을 이용하여 저질을 준설하거나, 채취선을 이용하여 녹조를 제거하고 있다. 또한, 정화수로(淨化水路), 자외선 정화시설, 바이오파크(bio park)(그림 2), 고도 하수처리장을 설치하여 유입하는 부하를 제거하고 있다. 여기서, 바이오파크는 수생식물을 이용하여 채소나 화훼를 재배하면서 물 속에 있는 부유물질이나 비료성분을 제거하는 시설로서, SS는 70%, 클로로필은 60%, 질소나 인은 20~40%의 제거율을 보이고 있다. 지역 주민들은 “바이오 파크를 사랑하는 모임”을 결성하여 바이오 파크를 관리하고 수질정화에 대한 계몽을 담당하고 있다.

나. 용수의 안정화 및 하천환경의 보전

토네가와와 나카가와 지역은 자주 갈수가 발생하여 취수를 제한해야 하는 등 물 이용에 큰 문제가 있다. 토네가와와는 최근 10년간 4회 갈수가 발생하였고, 1982, 87, 90, 94, 96, 97, 01년에는 취수를 제한하는 일이 발생하였으며, 발생시기는 주로 6월에서 9월 사이의 여름에 많이 발생하였다. 나카가와와는 최근 10년간 5회 갈수가 발생하였고, 1984, 87, 88, 90, 93, 94, 96, 97, 01년 갈수에는 하천유량이 감소하여 해수가 역류하여 수도용수와 농업용수의 취수를 중단하거나 취수장소를 변경하는 어려움을 겪었으며, 발생시기는 주로 4월에서 5월 사이의 봄에 많이 발생하였다.

이와 같이 갈수 발생시기가 서로 다른 점에 착

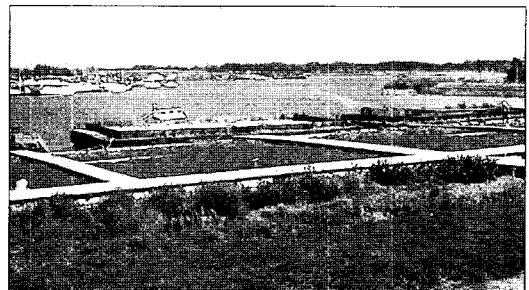


그림 2. 바이오 파크

안하여 4, 5월 봄에는 유량이 풍부한 토네가와에서 최대 25 m³/s를 2.9km 토네도수로를 통하여 카스미가우라로 양수하여 저수량을 증가시킴으로써 호소 수질정화와 용수공급 능력을 확대하고, 다시 다카하마(高浜) 양수장에서 최대 11 m³/s를 42.9km 나카도수로를 통하여 양수하여 나카가와와 물 부족과 해수피해를 경감한다. 반대로 6, 7월 여름에는 유량이 풍부한 나카가와에서 최대 15 m³/s를 카스미가우라로 양수하여 저수량을 증가시킴으로써 호소 수질정화와 용수공급능력을 확대하고, 다시 토네양수장에서 최대 25 m³/s를 양수하여 토네가와와 기존 용수공급을 안정화하고 하구언과 함께 하천환경을 보전하여 갈수피해를 상당 부분 경감시킬 수 있다. 연간 카스미가우라로 양수 공급되는 수량은 6.5억 m³이다.

또한, 사쿠라 양수장을 통하여 최대 3m³/s를 나카가와와 지류인 사쿠라가와에 공급하므로서 千波湖의 수질을 정화할 수 있다.

이미 1996년 완공된 카스미가우라-토네가와 연결수로를 통하여 25 m³/s를 공급하고 히타치가와(常陸川) 수문과 토네가와 하구언과 함께 일본 최대 하천 토네가와 하류의 환경을 보전하고 있다.

다. 신규 도시용수의 확보

토네가와와 상류 댐군, 중유역의 저수지, 호소

개발, 하구언, 하천간 연결수로 등 광역 물 네트워크를 통하여 수도권의 방대한 용수를 공급하고 있다. 최근 이바라키현, 동경도, 사이타마현, 치바현 등에 신규로 확보해야 할 도시용수가 9.2 m³/s(수도용수 7.2 m³/s, 공업용수 2.0m³/s)가 필요한데 카스미가우라 도수사업이 완공되면 5m³/s는 카스미가우라에서 4m³/s는 나카가와 하류에서 공급 가능할 것이다.

물 수요-공급계획(1986~2000)에 따르면 수량은 수도용수 93m³/s, 공업용수 35m³/s, 농업용수 43m³/s 등 170m³/s이며, 공급량은 카스미가우라에서 43m³/s, 기타 97m³/s이며 부족량 30m³/s은 상류에 새로운 댐군을 건설하여 공급할 계획이다.

4. 공법 및 기술

카스미가우라 도수로의 주요 사업은 토네 도수로(펌프장 1개소, 터널 2.6 km, 유량 25 m³/s)와 나카 도수로(펌프장 3개소, 터널 42.9 km, 유량 15 m³/s)의 건설이다. 도수로 공사는 환경에의 영향을 경감시키기 위하여 지하 20~50 m의 터널로서 최신의 토목기술을 사용하여 건설하고 있다. 그림 4는 도수로의 단면 규격이다.

카스미가우라 도수로에 채용되고 있는 공법을 소개하면 다음과 같다. 첫째는 자동화 오픈 케이

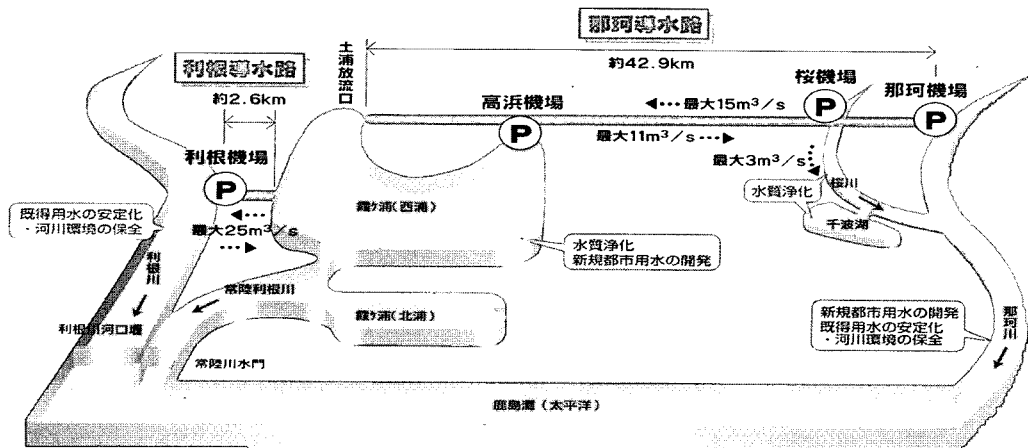


그림 3. 카스미가우라 도수사업의 주요시설 모식도

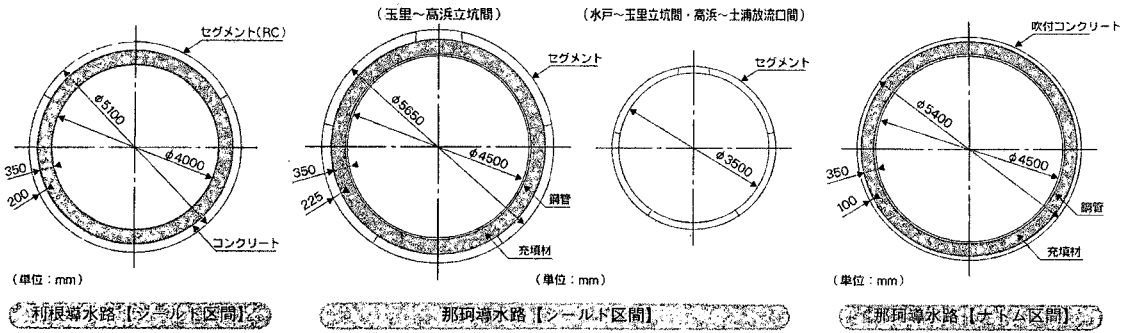


그림 4. 카스미가우라 도수로의 단면

슨 공법(SOCS공법, Super Open Caisson System)으로 굴착, 양토, 케이슨압입 등을 자동 기계화 시공함으로써 종래의 오픈케이슨 공법의 시공상의 과제를 해결한 공법이다. 오픈케이슨 공법으로 지표면에서 수직으로 굴착한 갱도는 굴착기의 반입이나 굴착토의 반출에 사용되고, 도수로가 완성된 후에는 터널 내부의 점검을 위한 출입 등에 사용된다. 둘째는 장거리 급속시공 실드 머신(shield machine) 공법이다(그림 5). 종래의 실드 공법은 굴착기의 시공가능 길이(약 2km) 때문에 수직갱도의 구축수가 비교적 많았다. 본 공법은 신소재의 비트를 채용, 새로운 비트 배치방법의 채용(단차 비트) 등에 의해 약 5km의 장거리 굴착을 가능하게 하므로 수직갱도 공사비를 절감할 수 있다. 또한 본 공법은 세그먼트(segment)의 고속 반송이나 세그먼트 조립과 지반굴착의 동시 시공이 가능하므로 하루에 굴착할 수 있는 길이가 보통의 약 2배(20m/일)에 달해 공기단축에 의한 비용절감을 도모할 수 있다. 셋째는 신소재 콘크리트를 사용한 실드 발진·도달 방호 공법(NOMST, Novel Material Shield-cuttable Tunnel-wall System)의 채용이다. 종래의 실드 발진·도달부에는 마무리 작업의 방호를 위하여 대규모의 지반개량을 필요로 하였다. 본 공법은 연속벽에 신소재 콘크리트(철근대신 탄소섬유를 사용한 콘크리트)를 사용함으로써 지반개량을 하지 않고 실드 기계를 발진·도달시키는 것이 가능해졌다. 본 공법의 채용으로 지반개량에 필요한 공사비를 대폭 절감할 수 있다.

5. 생태계 및 환경보전 대책

카스미가우라는 1960년대 중반까지 어업활동이 활발했으며 어획량도 약 1만톤에 달하였고, 1980년대에는 약 1만8천톤까지 증가했으나 1980년대 이후에는 점차 감소하여 최성기에 비하여 1/4로 감소하게 되었다. 그 원인은 수질의 변화, 어류 먹이원의 감소, 자연호안 소실, 어류산란장 및 치어 서식지의 소실 때문이었다. 이러한 이유 이외에도 잡히

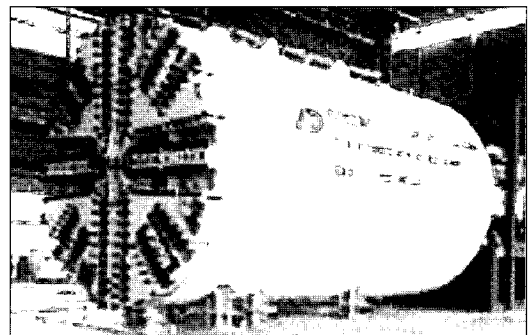


그림 5. 장거리 급속시공 실드기

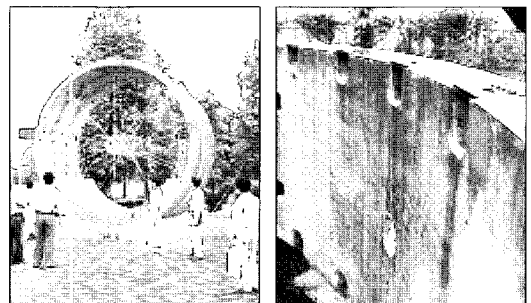


그림 6. 카스미가우라 도수로의 실드공법에 사용된 RC세그먼트의 형상

는 어종에 있어서 과거의 경제성 어종보다는 경제성이 없는 종들이 수확됨으로써 이들이 어업 퇴화의 주된 요인으로 보인다. 결국 수질을 보전하고 자연호안을 복원하는 것만이 어업을 살리는 길로 보고 이에 대한 대비책을 준비하였다. 즉, 산란하기 위하여 소상하는 봄에는 어도를 카스미가우라 주변 휴경지의 경작지에 연결시킴으로써 잉어나 붕어 외에 참붕어, 송사리 등의 산란장을 마련하고 있다.

카스미가우라의 경우는 대부분 연결수로가 지하에 매설되어 있어 지상부에는 큰 영향이 없으나 환경보전에 만전을 기하기 위하여 지속적인 생태계조사를 수행하고 결과를 각종 정책수립에 반영

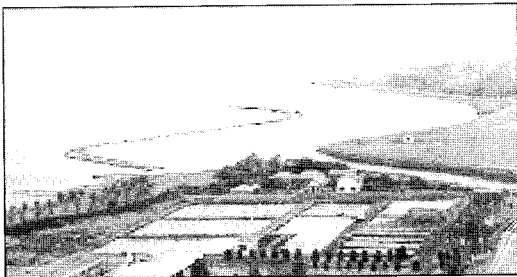


그림 7. 카스미가우라의 수질을 정화하기 위한 수초보호막과 수초대

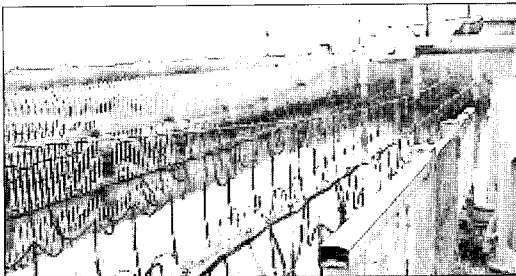


그림 8. 어류유입방지를 위한 전기차단스크린

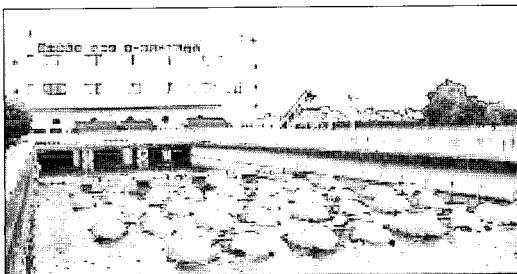


그림 9. 수질정화용 목탄시설

하고 있다. 대상 분야는 수질과 어류, 수생생물들로 하고 있으며 대상지는 토네가와, 나카가와, 카스미가우라로 지속적인 현장조사를 실시함으로써 사업에 따른 영향이 최소화 되도록 하고 있다.

카스미가우라로 통하는 수로는 지하매설시설로서 도수관로에 물속의 소비자 생물에게 가장 중요한 용존산소의 회복을 위해 폭기시설을 갖추고 있으며, 또한 수질의 영향을 최소화하기 위하여 카스미가우라의 통관의 전면, 토네가와 침사지 및 통관 전면에 목탄정화시설을 갖추고 있다. 이외에도 토네가와와 카스미가우라 사이의 어류이동을 방지하기 위하여 전기스크린을 설치하고 있다. 카스미가우라의 수질을 정화하기 위하여 식생을 이용한 식생정화시설과 식생대 복원시설을 지속적으로 추진하고 있다. 하천 환경에 대한 정보를 일반인들에게 알려주기 위하여 하천정보 표시장치를 갖추고 있다.

6. 카스미가우라 도수사업과 새만금 도수사업의 연관성

금강호에서 최대 20 m³/s, 연간 5억 m³의 물을 도수하여 새만금호의 제염을 촉진하고 만경강 유입수의 수질을 개선하려는 새만금 도수사업과 카스미가우라 도수사업을 비교하여 참고할 사항을 살펴보았다.

가. 비슷한 점

새만금호와 카스미가우라의 유역면적, 유역내 인구, 저수량, 연간 유입유량, 호 면적 등이 비슷하고, 호내 제염을 촉진하고 수질을 개선하려는 목적이 유사하다. 금강호-새만금호 연결수로는 최대 도수량 20m³/s, 연간 도수량 5억m³인데 카스미가우라 도수로는 각각 15 ~ 25m³/s, 6.5억m³으로 비슷한 규모이다.

나. 다른 점

새만금호는 인공 담수호인데 반하여 카스미가

우라는 자연 담수호이다. 새만금호는 금강호에서 일방향 도수로 계획되어 있으나 카스미가우라는 토네가와와 나카가와 사이의 쌍방향 도수로 건설 중에 있다. 새만금호는 호소에서 호소로 용수를 공급하지만, 카스미가우라는 하천에서 호소로, 호소에서 하천으로 용수를 공급하도록 되어 있다. 금강호-새만금호의 연결수로로는 개수로로 계획되어 있지만 카스미가우라는 터널공법에 의한 양수식 관수로로 건설되고 있다.

다. 참고할 사항

현재의 일방적 물 공급이 아니라, 유역은 적고 저수용량이 큰 새만금호와 유역은 크지만 저수용량이 적은 금강호의 특성을 고려하고, 향후 이 지역 물 수요-공급 변화와 금강수계와 만경강의 계절별 유황을 고려하여 물 부족에 따라 상호 교환 방식으로 공급하는 방안을 강구할 필요가 있다.

도수계획에 의한 카스미가우라의 수질개선효과는 10% 정도이지만, 수질기준을 만족시키는 데는 결정적 역할을 하듯이, 금강호 물 도수계획이 수질기준을 만족시키는 데는 결정적일 수 있다. 카스미가우라에서 보듯이 호소바다 저니층으로부터 용출되는 질소, 인은 호내 부하량의 상당량을 차지하므로 단계적 준설사업은 수질개선의 유효한 방법이다. 카스미가우라에는 가뭄 등으로 수질이 장기적으로 악화하거나, 돌발적인 수질사고가 발생하는 경우를 대비하여 수질사고 핫라인(hot line)이 설치되어 있다. 이와 같은 수질관리 체계의 확립도 고려해야 한다.

현재 연결수로가 개수로로 계획되어 있어 일부 생태교란이 예상되므로 상호 교환방식에 의한 쌍방향 공급과 생태계 보전을 위해서는 지하터널의 압력 관수로도 고려해 볼 필요가 있다. 개수로로 연결할 경우 카스미가우라의 자연호안 조성방법을 도입할 필요가 있다. 개수로 연결은 도수관로 연결보다 육상생태계의 보전에 좋지 않을 수도 있으나 경관 및 수계생태계 보전 측면에 있어서는 바람직할 수 있다. 지하터널 압력

관수로 방식의 경우는 관로속의 생태계가 황폐화될 수도 있으므로, 이를 막기 위해서는 관로에 용존산소 유지를 위한 폭기조의 설치, 조정지 설치를 통한 대기와의 접촉 등 수환경 생태계가 용이하게 유지될 수 있도록 고려해야 한다.

생태계가 유지되고 양호한 수질을 유지하기 위해서는 개수로 주변을 자연형 호안공법을 채택하고 카스미가우라에서 취하는 방식인 폐경지를 활용하여 어도를 설치하고 수초 등 산란장을 조성함으로써 가능해 질 수 있다. 공사중이나 공사 후에도 지속적인 생태계 모니터링을 통하여 생태계 변화양상을 고찰하고 그 결과에 따라 사업에 지속적으로 반영하여야 한다. 아울러 다양한 생물자원을 보호하고 양호한 수질을 확보하기 위해서는 친수공간을 조성하고 사람들이 물을 찾도록 환경을 개선하는 일이 무엇보다 중요할 것이다.

7. 맺는말

수질정화, 용수 안정화, 하천환경 보전 및 도시용수 확보를 목적으로 펌프장 4개소와 도수터널 45.5km를 뚫어 카스미가우라 호수와 토네가와 및 나카가와 등의 하천을 연결하는 일본 카스미가우라 도수사업 현황에 대하여 개략 소개하고, 새만금 도수사업에 참고할 사항을 검토해 보았다. 카스미가우라 도수사업은 환경에 영향을 경감시키기 위하여 지하 20~50m의 터널로서 최선의 토목기술을 이용하여 건설하고 있고, 각종 생태계 및 환경보전 대책을 수립하여 시행하고 있으며 지속적인 현장조사를 실시함으로써 사업에 따른 영향이 최소화 되도록 하고 있다.

금강호 물을 도수하여 새만금호의 제염축진 및 수질개선을 목적으로 계획하고 있는 금만연결수로의 건설은 카스미가우라 도수사업과 비슷한 점이 많으므로 이를 참고하여 계획수립 및 설계에 충분히 반영하고, 새로운 인공 연결수로의 건설이 환경친화적인 사업이 될 수 있도록 만전을 기해야 할 것이다.