

미국 콜로라도강 수자원 개발과 관리



정 상 옥

경북대학교 농업토목공학과 교수
sochung@knu.ac.kr

1. 서론

2010년 5월에 필자가 근무하는 경북대학교 농업토목공학과 4학년 학생 4명이 학교에서 지원하는 글로벌챌린저 해외탐방 프로그램에 콜로라도강 탐방팀으로 신청하여 선정되었다. 필자는 유학과 방문교수 등으로 미국에서 8년을 살았지만 남서부 지방을 방문할 기회가 없었는데, 이번에 20여년 만에 다시 미국을 방문하게 되었다. 여행 경비를 줄이기 위하여 동경에서 환승하는 항공권을 구입하였다. 장시간의 비행 끝에 2010년 6월 20일 LA에 도착하여 6월 28일까지 상부 콜로라도강 지역의 Glen Canyon 댐에서부터 하부 콜로라도강 지역의 Hoover, Davis, Parker 댐과 멕시코 국경 근처에 있는 Imperial 및 Laguna 댐 까지 6개 댐을 방문하면서 콜로라도강의 수자원 관리와 용수공급에 대하여 조사하였다.

작년에 영국 Cranfield 대학에 방문교수로 가 있는 동안에 프랑스를 여행할 기회가 있었다. 파리에서 렌트카를 하며 네비게이션을 빌렸는데 한국말 안내를 받을 수 있었다. 이번에 미국에서도 KIA 자동차를 렌트하여 한국말 안내를 하는 네비게이션을 빌렸다. 미국의 도로에서는 수많은 현대자동차와 KIA 자동차가 유수의 외국 자동차들과 함께 달리는 것을 볼 수 있었

다. 또한 LA 한인타운의 번영과 Las Vegas의 한인 상가지역을 보며 우리의 국력을 실감할 수 있었다.

미국으로 출발하기 전에 USBR Denver Center에 연락하여 Lower Colorado Dams Office와 Yuma Area Office 방문 일정을 예약하였다. Hoover 댐 방문시에 공무과장 Nguyen씨의 브리핑을 들었으며, McRoverts씨의 열성적인 현장 안내를 받았다. Yuma Area office 방문시에는 사무소장 McClosky씨의 브리핑을 들었으며, 운영과장 Martin씨의 친절한 현장 안내를 받았다. 이들에게 지면을 빌어 감사드린다.

본 고에서는 미국 서부의 수자원 관리 기관인 미국 내무성 개척국에 대하여 소개하고, 콜로라도강의 수자원 개발과 관리에 대하여 하부유역을 중심으로 소개하여 최근 논쟁이 되고 있는 4대강 개발사업 등에 참고가 되었으면 한다.

2. 미국 내무성 개척국 (USBR)

미국 내무성 개척국 (US Bureau of Reclamation)은 1902년에 미 의회의 입법에 의하여 설립 (설립 당시 이름은 US Reclamation Service) 되어 미국 서부의 수자원에 대한 조사와 건설사업을 시작하게 되었다. USBR은 오래 전 대학시절에 댐 공학 교재로 사용한 “댐의 계획설계 및 시공 (이창구 교수 역)”의 원서인 “Design of Small Dams”의 저자로 친근하여 졌다. USBR의 조직과 관할 구역은 표 1과 같으며 Washington DC에 본부가 있고, Denver에 연방센터가 있으며 그 아래에 5개 지역 사무소가 있으며 각



표 1. USBR의 본부와 지역사무소 조직

구 분	소재지	관할구역
본부	Washington DC	전체 총괄
Denver Federal Center	Denver, Colorado	전체 총괄
Great Plains Regional Office	Billings, Montana	Montana, Nebraska, Kansas, Eastern Colorado, Wyoming, Oklahoma, Texas, Dakota
Lower Colorado Regional Office	Boulder City, Nevada	Arizona, Lower Nevada, Southern California
Mid-Pacific Regional Office	Sacramento, California	Oregon, Nevada, Northern California, Central California
Pacific-Northwest Regional Office	Boise, Idaho	Idaho, Washington
Upper Colorado Regional Office	Salt Lake City, Utah	Utah, New Mexico, Colorado

표 2. USBR Lower Colorado Regional Office의 산하 조직

구 분	소재지	기 능
Phoenix Area Office	Glendale, Arizona	Arizona 전역의 물 관리에 대한 행정
Yuma Area Office	Yuma, Arizona	미국 남서부와 멕시코의 용수공급관리
Lower Colorado Dams Office	Hoover Dam Boulder City, Nevada	Hoover, Davis, Parker 댐 관리 및 발전 관리
Boulder Canyon Operations Office	Boulder City, Nevada	1,107km에 달하는 하부 Colorado 강의 수자원 과 전력차원 관리
Southern California Area Office	Temecula, California	남부 California 지역의 물 관리에 대한 행정

지역사무소 산하에 여러 개의 지구사무소가 있다.

USBR이 콜로라도 강에 있는 모든 주요 댐을 운영하고 있으며, 특히 물이 매우 부족한 하류 유역에 대한 물 관리자의 역할을 하고 있다. 우리가 방문한 Hoover 댐 이하는 Lower Colorado Regional Office 관할구역이며 산하조직은 표 2와 같다.

3. 콜로라도 강

콜로라도 강의 시점은 록키산맥 서쪽에 있는 Colorado주 Granby시이며 그 지류는 와이오밍주

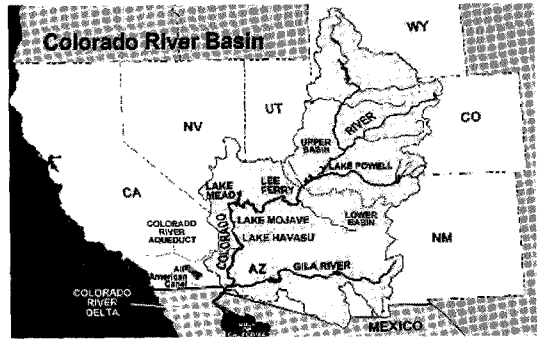


그림 1. Colorado강 유역

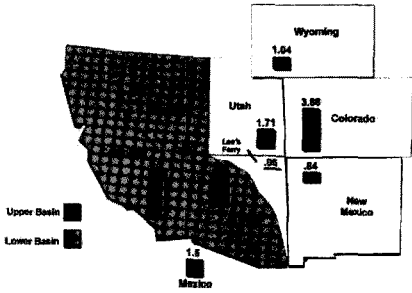
Green강에서 시작한다. 콜로라도 강의 유역면적은 640,000 km²이며 미국 7개 주와 멕시코에 걸쳐있으며 강의 길이는 2,300 km이며 멕시코의 Gulf of California에서 바다로 흘러간다.

그림 1은 Colorado강 유역을 보여주고 있다. USBR은 유역관리를 위하여 Upper Colorado 유역과 Lower Colorado 유역으로 구분하고 있다. 경계는 Glen Canyon 댐 약간 하류에 있는 Lee ferry 이다. Glen Canyon 댐은 Powell 호수를 만들며 Upper basin에 속하며, Glen Canyon 댐 약간 남쪽에서 시작하는 Grand canyon은 서쪽으로 446 km를 뻗어 유명한 Hoover 댐으로 형성되는 Mead 호까지 뻗는다. Grand canyon은 최대 폭이 29 km, 깊이가 1.6 km로 세계적인 불가사의의 하나로 알려져 있다.

콜로라도 강 상부 유역의 면적은 280,000 km²이며, 하부 유역 면적은 360,000 km²이다. 하부 콜로라도 강 유역은 Lee ferry로부터 멕시코 경계까지이며 강의 길이는 1,107 km이다. 콜로라도 강은 건조한 미국 남서부 지방의 젖줄이다. 강에 댐이 건설되기 전에는 홍수로 많은 피해가 발생하였다. 하부 콜로라도 강 유량의 90 %는 상부 유역의 눈 녹은 물로 구성되고, 하류 유역은 건조 지대이므로 지류 유입량이 유량에 기여하는 비율이 10 % 정도에 지나지 않는다.

4. 콜로라도 강 물의 배분

콜로라도 강물은 유역을 이루는 7개 주, 10개의 인



Note : unit in million acre-feet
 1 million acre-feet = 1,233 billion cubic meter

그림 2. Colorado 강 물의 배분 (미국 7개 주 및 멕시코)

다만 부족 및 멕시코가 나누어 쓴다. 물 배분은 여러 이해 당사자 사이의 협약, 국제 조약, 대법원 판결 등에 의하여 결정된다.

1992년의 협약에 의하여 콜로라도 강 상부 유역과 하부 유역은 각각 93억m³의 물을 사용할 수 있다. 상부 유역은 하부 유역으로 년 평균 92.5억m³를 흘려보내야 한다. 또한 1944년의 미국과 멕시코와의 조약에 의하여 미국은 콜로라도 강 물을 매년 18.5억m³ 국경 하류의 멕시코로 흘려보내야 한다. 멕시코로 보내야 할 18.5억m³은 콜로라도 강 상부 유역과 하류 유역이 절반씩 부담한다. 따라서 상부 유역에서는 하부 유역으로 년 평균 101.75억m³를 흘려보내야 한다.

그림 2는 콜로라도 강 수자원의 주별 배분 상황을 보여주고 있다. 가장 많은 할당량은 California주의 연간 54.7억m³이고, 상부 유역의 가장 많은 할당량은 Colorado 주의 47.6억m³이다.

그림 3은 California 주의 콜로라도 강 수자원의



Note : PVID-Palo Verde irrigation district; CVWD-Coachella Valley water district
 MWD-Metropolitan water district

그림 3. California 주의 Colorado 강물 공급지역 및 할당량

배분 상황을 보여주고 있다. 가장 많은 할당량은 California 주 할당량의 70.5 %에 해당하는 Imperial 관개조합의 연간 38.2 억m³이다.

5. 콜로라도 강 댐 건설

현대적인 콜로라도 강의 개발은 1900년대 초기에 시작되었다. 콜로라도 강 유역에는 20개 이상의 대형 댐이 있으며 740 억m³를 저류할 수 있다. 이 저류량은 콜로라도 강 평년 유량의 4년치에 해당한다. 콜로라도 강의 취수가능 수자원량은 연간 173억m³에 달한다.

5.1 상부 콜로라도 강

상부 콜로라도 강 유역에는 Green 강, Gunnison 강, 및 San Juan 강 등 3개의 주요 지류가 있다. 상부 콜로라도 강 유역 개발 (Upper Basin Project) 은 1956년의 Colorado River Storage Project Act에 의하여 4개의 주요 댐을 건설하게 되었다. 이들은 Colorado 주의 Wayne N. Aspinall unit (Mesa, Crystal, Morrow point 댐), Utah 주의 Flaming Gorge 댐, New Mexico 주의 Navajo 댐, 및 Arizona 주의 Glen Canyon 댐이다. 이번에 방문한 Glen Canyon 댐이 만드는 파웰 (Powell) 호수는 저수량이 크게 줄어들어 낮은 저수율을 보여

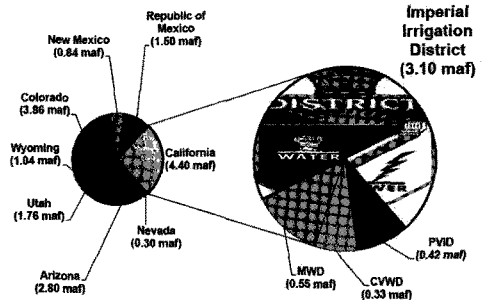


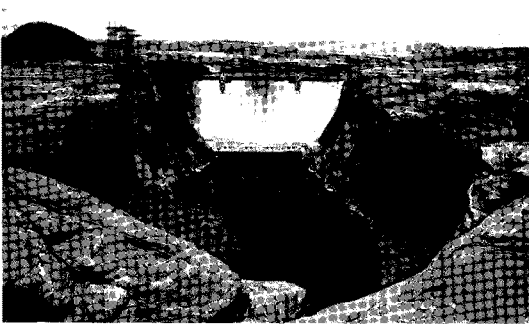


표 3. Lower Colorado 강의 댐 제원 (순서는 상류에서부터)

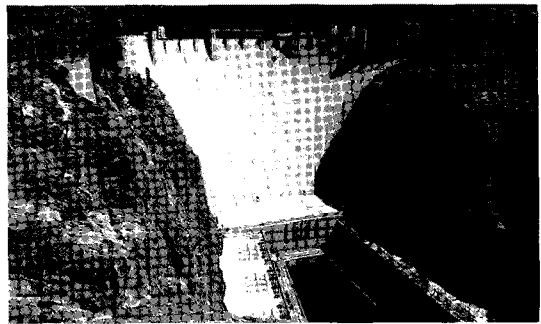
댐 이름	Lake 이름	준공년도	댐 형식	길이(m)	높이(m)	발전용량(MW)	저수용량(억 m ³)	주 목적
Glen Canyon ¹	Powell	1966	콘크리트아치댐	475	216	1,320	300	홍수조절, 발전, 위락, 용수공급
Hoover	Mead	1936	콘크리트아치댐	379	221	2,078	338	홍수조절, 발전, 위락, 용수공급
Davis	Mohave	1951	흙 댐	490	60	251	22	저류, 위락, 발전
Parker	Havasu	1939	콘크리트아치댐	261	98	120	8	저류, 위락, 발전
Headgate ²	Moovalya	1942	콘크리트부벽댐	817	3.0	10.8	0.25	발전, 취수 댐
Palo Verde		1958	흙 댐	560	14	-	-	취수 댐
Imperial	Imperial	1938	콘크리트부벽댐	1,059	26	-	2.0	취수 댐
Laguna	Laguna	1909	석괴댐	1,457	5.8	-	-	취수 댐

Note : ¹ Upper basin dam

² US Bureau of Indian Affairs 관리, 인디언 보호구역으로 물 공급



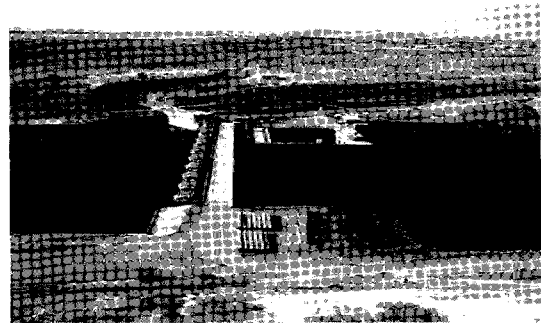
Glen Canyon dam



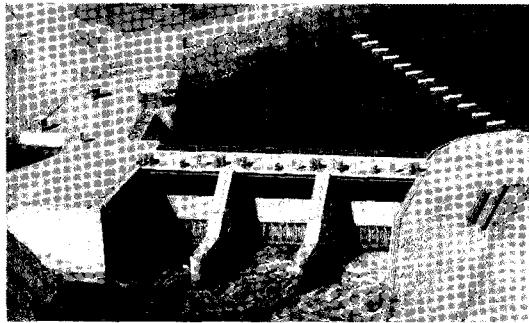
Hoover dam



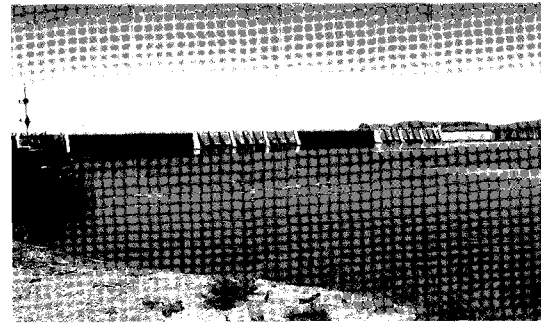
Parker dam



Headgate dam



Palo Verde dam



Imperial dam

그림 4. 댐 전경 사진

주고 있었다.

5.2 하부 콜로라도 강

표 3은 하부 콜로라도 강에 있는 댐의 제원을 보여 주고 있다. 댐 이름, 호수 이름, 댐 길이 및 높이, 저수용량 및 주 목적이 제시되어 있다. 상부 하부 콜로라도 강에 있는 Glen Canyon 댐을 포함하고 있으며 멕시코에 있는 Moralos 댐은 포함하지 않았다. 그림 4는 댐 전경 사진이다.

5.2.1 The Yuma Irrigation Project

하부 콜로라도 강 유역에 대한 개발은 USBR의 첫 번째 사업이었다. 1902년에 설립된 USBR은 Colorado 강에서 제일 먼저 Yuma irrigation project를 시작하였다. 1903년에 콜로라도 강 하류단에 Laguna 댐 건설을 위한 조사를 하게 되었다. 그 때까지 미국에는 그러한 댐 건설기술이 없었기 때문에 기술자를 인도에 파견하여 기술을 배워오게 하였다. Laguna 댐은 1909년에 준공되어 California와 Arizona에 용수공급을 하게 되었다.

5.2.2 The Boulder Canyon Project

1928년에 The Boulder Canyon Project 법이 통과되어 Hoover (당초에는 Boulder) 댐, Imperial 댐, All American Canal (AAC)을 건설하게 되었다. Hoover 댐은 180 km 길이의 미드 호 (lake Mead)를 만들고 년 평균 117억³의 용수를 공급하

며 2,078 MW의 발전을 하고 있다. 댐 운영관리 비용은 대부분 전력판매를 통하여 충당하고 있다. 콘크리트 아치 댐의 상부에는 2차선 도로가 있어서 차량 통행이 가능하나 2001년 9. 11 테러 사건 이후로 버스 등 일부 통행 제한을 해오고 있으며, 댐 하류 460 m 지점에 4차선 콘크리트 아치교를 건설하는 우회도로를 건설 중이며 2010년 까지 완공할 예정이다. 수년간 계속된 가뭄으로 Hoover 댐의 수위는 2001년부터 계속적으로 감소하고 있으며 2010년도 봄의 저수율은 39%를 밑돌고 있었다. Hoover 댐의 방문객은 연간 100만명에 이른다. 그림 5는 Hoover 댐 상류측 전경을 보여주고 있다.

1938년에 Laguna 댐 9.6 km 상류에 Imperial 댐을 건설하여 AAC로 용수공급을 하게 되어 Laguna 댐은 그 기능을 상실하게 되었다. AAC는 131 km 길이의 간선 도수로로 Imperial 댐에서 Imperial 관개 지구의 20만 ha에 관개용수를 공급하여 년 평균 강수량이 73 mm인 사막지대를 비옥한 농지로 개발하여 년 중 11개월 (8월은 너무 더워 생산 불가)간 작물생산을 하고 있다. 여담으로 멕시코의 밀입국자들이 매년 수백명이 AAC에 빠져서 목숨을 잃는다고 한다. Imperial 댐과 AAC는 정부 재산이며 관리는 Imperial 관개조합에서 위탁받아서 하고 있다.

USBR은 1965년에 Imperial 댐 3.3 km 상류의 콜로라도 강 옆에 Senator wash 댐을 건설하여 양수 저류와 양수발전을 하고 있다. 이 댐은 높이 28 m, 길이 581 m, 저류용량 13백만³이고 발전용량은 7.2 MW이다.



그림 5. Hoover 댐 상류측 전경 (댐 본체, 4개의 취수탑, Nevada측 여수토 위어)



5.2.3 The Parker-Davis Project

Parker 댐은 콘크리트 아치댐으로 1939년에 완공되었다. Parker 댐은 높이가 98 m이며 연약한 기초 지반으로 인하여 하상 아래로 72 m 깊이까지 내려가게 되어 세계에서 가장 깊은 댐으로 알려져 있다. 1941년에 Parker 댐의 물을 Colorado river aqueduct로 보내어 Metropolitan Water District of Southern California 관리지구로 생활용수를 공급하고 있다.

Colorado river aqueduct는 1933-1941동안에 건설되었으며, 길이가 389 km이며, 남부 California의 Los Angeles, Orange, San Diego, Riverside, San Bernardino, Ventura counties에 있는 1,800만명의 수요자에게 물을 공급하고 있다. 연간 취수량은 14.8억 m^3 이며 수로용량은 45 m^3/s 이다.

Davis 댐은 Parker 댐 상류에 건설되었으며 1951년에 준공되었다. 이 댐은 1944년 체결된 US-Mexico water treaty에 따라 Mexico로 보내기 위한 물을 확보하기 위하여 건설되었다.

5.2.4 Gila Project

1950년대에 Arizona 남서부의 Yuma Mesa 지역과 Gila Valley지역에 용수공급을 위하여 Gila project가 수행되었다. 이는 Imperial 댐의 물을 Arizona 남서부의 농지로 관개하는 사업이다. 즉, Yuma Mesa 지역과 Gila Valley지역 137 km^2 의 농지에 연간 3.8억 m^3 의 용수를 공급하는 사업이다. 기존 Imperial 댐의 서쪽 취수시설은 California의 Imperial 관개지구로 물을 보내고, Gila project에서는 Imperial 댐의 동쪽편에 취수시설을 설치하여 33 km 길이의 Gila gravity main canal을 통하여 남서부 Arizona 지역에 용수를 공급한다.

5.2.5 Palo Verde dam

1957년에 Imperial 댐 상류에 관개용수 공급을 위하여 Palo Verde dam을 건설하였다. 이 댐에서 Palo Verde 계곡의 297 km^2 농지에 관개용수를 공

급하고 있다. 수로 용량은 51 m^3/s 이며, 연간 64백만 m^3 의 용수를 공급한다.

5.2.6 Central Arizona Project

Central Arizona Project (CAP)는 Parker 댐의 물을 1985년에 건설된 CAP 도수로로 통하여 중부 및 남부 Arizona 지역의 도시용수, 인디안 보호구역 용수 및 농업용수를 공급하고 있다. CAP 도수로는 길이가 541 km이며 미국에서 건설된 수로 중 가장 길고 값비싼 수로이다. 수로의 관리는 Central Arizona Water Conservation District에서 맡아서 하고 있다.

6. 위락시설

위락이나 경관은 수자원 개발에서 중요한 부분을 차지한다. 상부 콜로라도 유역에는 54개의 호소가 있으며 이중 32개는 콜로라도 유역내에 있다. 이는 1,070 km^2 의 수면과 4,425 km 길이의 수변을 위락용으로 제공하며 년 평균 9백만명의 방문객을 맞이하고 있다. 하부 콜로라도 유역에는 824 km^2 의 수면과 3,060 km 길이의 수변을 위락용으로 제공하며 연간 수십억불의 관광산업을 운영하고 있다.

호소와 강에는 방문객들이 보트, 캠핑, 낚시, 수영 등을 즐기고 있다. 1937년에 설정된 Lake Mead National Recreation Area는 처음에는 Mead 호 주변에 한정되었으나, 하류에 Davis 댐의 건설로 Mohave 호가 생긴 후에는 Mohave호 주변도 모두 포함하게 되었다.

수자원 개발은 도시개발과도 밀접한 관계가 있다. Hoover 댐의 용수와 전기공급으로 Las Vegas가 생성, 발전하게 되었으며, Hoover 댐 하류에 있는 Davis 댐의 개발로 Laughlin 시가 발전할 수 있었다. Laughlin에는 호텔마다 카지노가 있으며 강변 휴양시설을 만들어 많은 관광객들이 찾아오고 있다. 이 두 도시에는 오늘날도 한국 관광객들이 넘쳐나고 있다.

7. 콜로라도 강의 물 관리

콜로라도 강의 댐에는 어도나 갑문은 없다. 주운은 댐이 만드는 호수나 하천 내에서만 가능하며 댐을 가로질러 지나갈 수는 없다. 과거에 콜로라도 강에서 홍수가 많았던 것으로 알려져 있다. 1905년의 대홍수로 콜로라도 강이 범람하여 California 남부 지역을 침수시켰으며 그 결과로 Salton sea가 형성되어 지금까지 오고 있다. 따라서, Hoover 댐과 Glen Canyon 댐 등의 1차적은 목적은 홍수조절이다.

Lower Colorado Regional Office는 Hoover, Davis, Parker 댐을 관리하고 있으며 물 관리 우선 순위는 다음과 같다.

- ① 홍수조절, 하천유량조절, 주운 개선
- ② 물 절약 및 저류
- ③ 수력 발전

Lower Colorado Regional Office의 평상시 물 관리 기본 방침은 바다로 유출하는 유량을 0으로 유지하는 것이다. 3개의 댐 중 제일 하류에 있는 Parker 댐에서의 물 공급은 하류의 물 이용자의 요구가 있을 때에만 물을 보내준다. 따라서 3개 댐에서 발전 단일 목적으로는 물을 사용하지 않는다. Parker 댐에서 방류한 물이 Imperial 댐에 도착하

는 데는 72시간이 소요된다. 따라서 하류 지역의 물 수요자들은 미리 물 공급을 요청하여야 한다.

콜로라도 강의 물 사용료는 공급수량에서 환원수량을 뺀 순 소비량에 대하여 부과한다. 이는 농업용수, 생활용수, 공업용수에 모두 동일하게 적용된다.

8. 결론

콜로라도 강 유역에는 여러 개의 댐 건설은 홍수조절을 가능하게 하였으며 많은 양의 전기 생산과 용수 공급을 통한 효율적인 수자원 관리로 풍요로운 사회를 건설하는데 크게 기여하였다. Lower Colorado Regional Office의 평상시 물 관리 기본 방침은 바다로 유출하는 유량을 0으로 유지하는 것이었다. 콜로라도 강의 수자원 개발로 미국 남서부의 사막지대에 관개용수를 공급하게 되어 광대한 농지로 개발하여 미국 겨울 채소의 90%를 공급하고 있다.

또한 댐 건설로 만들어지는 호수를 위락공간으로 제공하게 됨으로서 지역 주민은 물론이며 많은 관광객을 유치하고 있다. 본 고가 우리나라의 4대강 사업 등에 참고가 되었으면 한다. 🍷

참고문헌

1. <http://www.usbr.gov>
2. http://en.wikipedia.org/wiki/imperial_dam
3. Nguyen, C. 2010. "Hoover Dam Tour" 브리핑 자료.
4. McCloskey, J. 2010. "Yuma area office Water Operations" 브리핑 자료.
5. Shields, T.A. 2010. Imperial Irrigation District Water Supply Issues and Policies, unpublished manuscript, Imperial Irrigation District.