

# 효율적 수자원 관리를 위한 TARP(Tunnel and Reservoir Plan)의 국내적용에 관한 검토

박창근 (관동대학교 공과대학 토목공학과)

박재현 (인제대학교 공과대학 토목공학과)

## 1. TARP(Tunnel and Reservoir Plan)의 개념검토

TARP(Tunnel and Reservoir Plan)란 지하 대형터널과 이들을 연결하는 거대한 구조의 인공지하 저수지를 건립하여 도시 홍수시 발생하는 우수와 오수에 의한 초기오염 부하량을 줄이는데 목적이 있다. 대규모 TARP 시스템을 건설하여 유명한 미국의 Chicago는 미중부의 교통 및 산업의 거점도시인데, 오대호 중 Lake Michigan에 연하여 있어 홍수가 발생할 경우 우수와 오수에 의한 초기오염 부하가 발생하면 직접 Lake Michigan으로 유입하기 때문에 이로 인한 Lake Michigan의 오염이 대단한 환경문제로 대두되었다. 이를 해결하기 위하여 초기 홍수량을 저류하여 홍수 피해의 위험을 줄이고 초기 오염 부하를 지하에 저류 하였다가 홍수 후 정화처리시설을 통하여 처리수를 호수로 방류하는 시스템을 준비하였는데, 이 프로젝트가 Chicago의 유명한 TARP System이다. TARP System의 개념도는 Fig. 1과 같다.

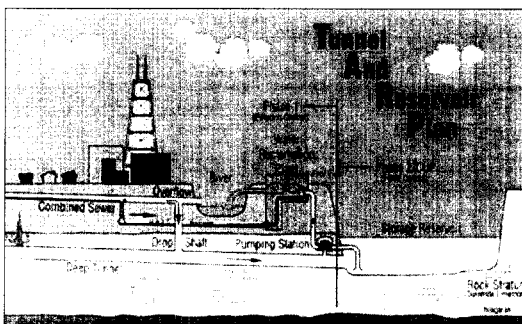


Fig 1. TARP System

## 2. TARP의 이해에 필요한 중요 요소(factor)들의 평가

우리나라는 홍수의 피해를 줄이고 부족한 수자원을 확보하기 위하여 대규모 다목적 댐 건설을 추진하여 왔다. 하지만 최근 댐 건설의 한정된 대상 지역과 환경 NGO 및 지역주민의 반대 등으로 추가적인 대규모의 댐 건설이 어려운 현실이다. 대표적인 예가

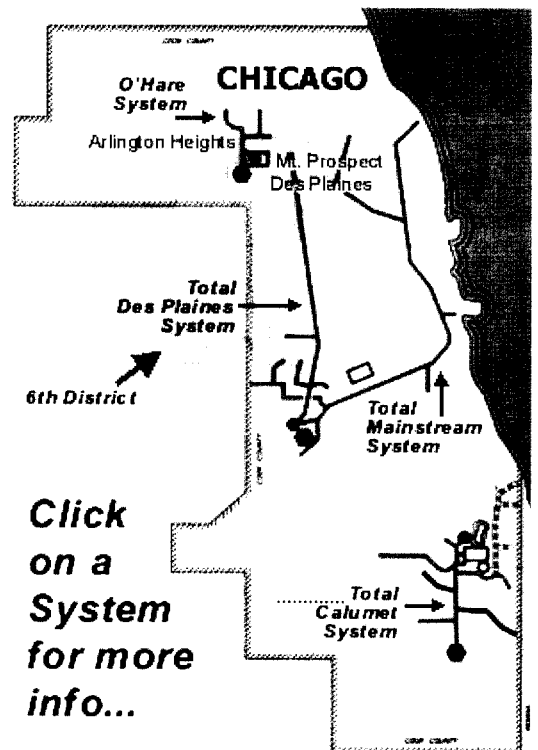


그림 1. Chicago 지역의 TARP 시스템 계획도

동강 댐의 건설백지화라고 할 수 있다. 이 시점에서 환경 친화적이면서 치수와 이수 문제를 해결할 수 있는 방안이 필요한 시점이다.

TARP 시스템을 도입할 경우 얻을 수 있는 효과는 환경 NGO의 반대를 최소화할 수 있을 뿐 아니라 도시지역의 상습 홍수피해의 경감, 홍수조절, 오염물질 방류 저감으로 인한 환경보호, 수질개선 및 유량조절에 따른 용수공급량의 증대 등을 들 수 있다. 나아가 도심지역 위주의 홍수방어개념에서 이를 광역화함으로써 광범위한 영역에 대한 적극적 개념의 수자원 확보 장치로 운영할 수도 있을 것이다.

따라서 TARP를 도입함에 있어 각 유역별 특성 및 대상지점의 요구특성을 분석하여 TARP 시스템의 목적을 구체화하여 그 특성에 맞는 설계 및 운영개념을 구체화하여야 할 것이다. TARP 시스템을 도입할 경우 이 시설을 이용하는 목적들은 다음과 같은 항목들로 설명할 수 있다.

(치수적 관점)

- 도시내 상습 홍수피해의 경감
- 하천의 홍수조정기능

(이수적 관점)

- 오염물질 방류저감을 통한 하천환경보호
- 수질개선 및 유량조절에 따른 용수공급량 증대
- 수질개선을 통한 친수성 및 하천의 환경정도의 제고
- 소극적 개념의 수자원의 확보(댐의 보조 저장장

치로 활용)

- 지하수 대수층과 연계한 광범위 저류 시스템 구축을 통한 적극적 개념의 수자원 확보

### 3. TARP 시스템의 구성

TARP 시스템의 개략도는 Fig. 1과 같다. 이 시스템을 구성하는 구조물들은 터널, 낙하갱, 연결구조물, 조정 구조물, 조절구조물, 펌핑장, 지면 보류지, 하수 종말 처리장 등으로 구성된다.

#### 3.1 터널(Tunnel)

터널은 집수 구조물로부터 유입되는 물을 하수종말처리장 등의 펌핑장으로 운송하기도 하며, 터널내부에 물을 저류 할 수도 있다. 수로는 주통수터널(Main Conveyance Tunnel), 부통수터널(Secundary Conveyance Tunnel)로 나눌 수 있다. 지질 상태에 따라 콘크리트 라이닝을 필요로 하기도 한다.

#### 3.2 낙하갱(Drop Shaft)

낙하갱이란 집수 구조물로부터 유입되는 물을 심층터널로 보내는 장치인데, 수직방향으로 상당한 깊이 이에 이르기 때문에 수직갱의 구조물이 피해를 입지 않도록 설계하여야 한다. 뿐만 아니라 물이 충돌하는 바닥부분에서의 에너지 소산방법을 강구하여야 하



그림 3. TARP tunnel 내부 공사현경



그림 4. 낙하갱 공사현장

며, 이때 발생하는 기체를 제거할 수 있는 탈공기방(Deaeration Chamber)을 갖추어야 한다. 즉, 물이 흐르는 하수갱(Sewage Shaft)과 공기가 탈출하는 공기갱(Air Shaft)을 설치하여야 한다. 하수의 터널 유입시 터널내 오염공기가 대기로 방출되기 때문에 낙하갱 주위의 대기오염도 염두에 두어야 한다. 이를 위한 탈취시설도 고려되어야 한다.

### 3.3 연결구조물(Connecting Structure)

연결구조물은 집수관에서 낙하갱으로 모든 우수 오수를 직접 보내는 장치를 의미하며, 이때 전체 또는 일부의 하수를 보내는 등 용량을 조절할 수 있다. 또한 배수펌프장의 흐름을 차단하거나 낙하갱의 흐름을 전환하는데 필요한 구조물 등과 강에서 터널시스템으로의 역류를 방지하는 방조수문(Tide Gate) 등을 포함한다.

### 3.4 조정 구조물(Regulating Structure)

거의 모든 낙하갱에서 우수, 오수의 흐름은 적절하게 조절되어야 하며, 때로는 이 흐름이 완전히 차단되어야 한다. 이를 위하여 수직 개폐식 수문(Sluice Gate)를 설치할 수 있으며 이 수문은 수동 또는 자동으로 원격조정 되어져야 한다.

### 3.5 조절구조물(Control Structure)

조절구조물이란 주요 하수관거나 집수관에 설치하는 구조물로서 연결구조물과 비슷한 구조물이나 다른 점은 일정 수위를 넘는 유량은 터널시스템으로 유입시키며, 그 외는 하천으로 통과시키는 고정웨어로 구성되어 있다. 즉, 갈수기에는 우수, 하수의 흐름이 하천으로 직행한다.

### 3.6 펌핑장(Pumping Station)

펌핑장의 목적은 심층 통수터널 내에 저류되어 있는 물을 하수종말처리장이나 지상 저류지로 방류하기 위하여 지표면으로 물을 끌어올리는데 있다. 총 흡입수두를 확보하기 위한 위치나 펌프용량의 결정, 비상사태를 대비한 펌프실 설계 등이 연구되어야

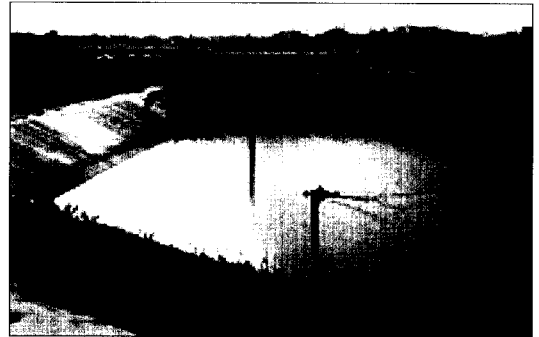


그림 Chicago 북서쪽에 위치한 O'Hare 지상저류지 전경

한다.

### 3.7 지상 저류지 (Surface Storage Reservoir)

지상 저류지는 심층 통수터널로부터 펌프로 끌어올린 우수와 오수를 저장하게 되며, 하수종말처리장에서 이를 처리할 때까지 저장하는 기능을 수행한다. 이 때 지상 저류지의 크기는 상호 연결된 터널과 수문에 의하여 서로 조정이 가능하기 때문에 시스템적인 접근에 의하여 용량결정에 관한 연구가 필요하다.

### 3.8 하수 종말 처리장(Sewage Treatment Plant)

심층 통수터널이 우수와 오수를 함께 저장할 경우 하수 종말 처리장이 필요하다. 이 때 하수 종말 처리장은 자연배수에 의한 흐름으로 설계가 되며, 펌핑장 또는 지상 저류지로부터 우수 오수를 공급받게 되며, 처리 후 하천으로 방류된다. 합류된 우수, 오수의 유입 부하량에 따른 적절한 처리과정의 조합 등 처리시스템 설계에 관한 연구가 필요하다.

위에서 TARP 시스템을 구성하는 구조물들을 설명하였다. 이 수리 구조물들은 수리학적으로 안정적이어야 할 뿐 아니라, 각 시스템은 설계량을 적절한 속도로 이송 또는 조절하여 주어야만 한다. 이를 위하여 각 수리 구조물의 수리안정성 및 이송능력 검토에 관한 연구가 필수적이며, 전체 시스템으로서의 최적 관리기법에 관한 연구도 필요하다. 뿐만 아니라

중간의 한 부분의 오작동에 대한 대안 등도 타당성 검토시 고려해야할 중요한 내용이다.

#### 4. TARP Pilot Testing Program

TARP 시스템을 적용하는데 있어 적용지역의 특성을 고려한 타당성조사는 필연적이라 할 수 있다. 이 타당성조사는 경제적, 사회적, 환경적, 기술적 문제를 포괄하는데, 이 때 검토되어야 할 과제는 계획, 설계, 시공, 운영 등의 분야로 나누어 검토되는 것이 효과적이다. 또한, 사업시행시 나타날 수 있는 시행착오를 방지하도록 선진 외국의 경험을 철저히 분석하는 것이 선행되어야 하며, 특히 시범사업을 수행하여 국내의 적용타당성 및 확보가능기술을 검토하는 것이 매우 중요하다. 시범사업을 수행하기 위하여 다음과 같은 사항이 고려되어야 한다.

##### 4.1 Pilot Site의 선정

- TARP 시스템의 주목적 선정
- 유역의 수리, 수문 특성검토
- 우수 및 오수의 수집방법 검토
- 하수관망 검토
- 저류시설의 용량 추정
- 배출시설의 위치계획 검토
- 각 수리구조물의 안정성 및 능력 평가를 위한 수리모형 실험
- 시스템의 관리기법 예측
- 하수처리장과의 연계방안 검토
- 도심 우수 저류지와 연계한 운영법 검토

##### 4.2 지질조사

- 대상 site의 지질특성조사
- 암반 특성을 고려한 Tunnel System의 규모예측
- 각 구조물의 위치 및 공법검토

##### 4.3 효율성 제고를 위한 운영방안 수립

- TARP 시스템의 설치에 따른 경제성 검토
- TARP 시스템의 유지보수 문제검토

- 심층터널에 장시간 물을 저류 할 경우 터널 내 침전물의 처리방안 검토
- 심층 터널내 생태학적 변화특성 검토
- 치수 및 이수의 효율을 최적화 하기 위한 운영기법의 가이드 선정

#### 5. 지역별 적용 예 비교

외국에서는 우수 및 오수의 효율적 처리를 위한 지하터널저장 및 운송시스템을 이미 건설하고 운영 중에 있다. 지하에 터널을 건설하는 것은 고비용을 요구하는 사업이지만, 지하터널저장 시스템의 장점이 부각되면서 그 적용지역은 더욱 늘어나고 있는 추세이다. 각 지역별 특성과 차이점을 조사하여 비교를 통하여 지하터널저장 방법의 국내적용에 대한 최상의 전략을 수립하는데 많은 도움이 될 수 있을 것이다.

##### 5.1 Chicago at Illinois, USA

- Chicago TARP(Tunnel And Reservoir Plan)  
Lake Michigan에 연해 있는 시카고는 홍수시 상수원으로 오염물질의 유입방지 목적으로 하수수송 터널시스템을 건설하였는데, 이 시스템은 강우시 합류식 하수수송 및 저류기능을 담당한다. 1972년 시작된 TARP 제 1기 사업은 1985년 완공되었으며, 1985년 이후 제 2기 사업을 시작하여 현재 진행 중에 있다. 1985년 완성된 제 1기 시설규모는 터널연장 약 177km, 낙하경 240개소, 펌프장 3개소이며, 이는 약 7,000,000m<sup>3</sup> 하수를 저류 시켜 강우 시 하천오염의 저감에 기여하고 있다. 제 2기 사업은 100년 빈도의 강우에 대하여 합류식 우수를 저류 시킬 목적으로 터널연장 약 35km, 거대 저류지 3개소를 건설하는 것이다. 이 계획으로 시카고가 기대할 수 있는 효과로는 강우시 방류 오타 부하량의 약 85%를 감소시킬 수 있었으며 침수방지 및 수질오타 방지로 투자비용 1달러당 1.57달러의 수익이 발생할 것으로 추정하고 있다.

## 5.2 Toronto, Canada

### - Toronto Sewage Storage Tunnel

Lake Ontario에 연해있는 Toronto시는 홍수시 합류하수거로부터 월류되는 오수로 인한 수질 악화로 Toronto western beach를 사용금지 하여야 하는 상황에 처하게 되었다. Toronto시는 이러한 문제를 개선하기 위하여 지하하수저장터널을 계획하였다. Western Beach Storage Tunnel은 지하 40m지점을 통과하는 직경 3m, 길이 4km의 긴 지하터널과 직경 30m의 저장용 낙하갱 3개와 같은 크기의 펌핑장 하나로 구성되어 있다. 이들 하수는 7개의 차집구조물로부터 지하터널로 흘러드는데 터널에서 28,000m<sup>3</sup>, 낙하갱에서 85,000m<sup>3</sup>의 하수를 저장하게 된다. Toronto 지하하수저장터널의 특징은 저장된 하수를 10시간 이상 체류시켜 침전시킨 후 수직갱 내에 설치된 자외선살균장치를 통과시켜 Lake Ontario로 방류시킨다. 그리고, 잔존하는 하수슬러지는 깨끗한 호수 물을 재주입하여 씻어내며 씻은 물은 하수처리장으로 보내어 처리하게 하였다. 이 사업을 위하여 5천4백만 달러가 소요되었다.

## 5.3 Milwaukee at Wisconsin, USA

### - Milwaukee Inline Storage System

Chicago 북쪽에 위치한 Wisconsin주 Milwaukee역시 Lake Michigan에 연해 있다. 이 역시 홍수시 오수의 방류에 의한 Lake Michigan의 오염을 방지할 목적으로 건설되어졌다. 5-9.6m 직경의 터널이 90m 지하에 총 연장 27.2km에 걸쳐 설치되어 졌으며, 1,533,000m<sup>3</sup>을 저류할 수 있는 장치이다. 여기에 저류된 하수는 Jones Island 하수처리장과 South Shore 하수처리장으로 보내져 처리가 된다. Milwaukee Inline Storage System에는 월류되는 하수를 지하터널로 보내는 24개의 낙하갱이 있다. Inline Storage System이 설치되면서 Milwaukee지역에 퍼져있던 19개의 소규모 하수처리장이 가동을 중단하였고, 연평균 50회의 범람이 있었던 Milwaukee지역이 연평균 2회로 크게 줄었다.

특히, 지천과 Lake Michigan으로 유입되는 오염원의 농도가 감소하면서 수질이 크게 개선된 것으로 보고되고 있다.

## 5.4 Sydney, Australia

### - Sydney Clean Harbor Storage Tunnel

호주 Sydney는 청천 시에는 깨끗한 바다를 유지하지만 우천 시에는 육지로부터 유입되는 우수와 오수로 인해 바다가 심하게 오염되었다. 2000년 시드니 올림픽 준비와 더불어 Sydney항을 정화하기 위한 환경 프로젝트를 출범시켰다. 이 문제를 해결하기 위하여 시드니 북쪽에 510,000m<sup>3</sup>을 저수할 수 있는 22km의 지하터널 저류시설을 계획하였다. 이 터널의 2/3은 6-6.5m의 직경으로, 나머지는 3.8m의 직경으로 제작되었다. 터널은 4군데의 주차집구조물을 연결하면서 도심을 통과하여 북쪽의 하수처리시설로 향하는데, 심도는 지하 60-170m(해수면 하 40-100m)에 이른다.

## 5.5 Tokyo, Japan

### - 동경 지하하천 계획

동경의 지하하천 시설은 인근 하천의 유하능력 초과분을 하수로 유출시키기 위한 것으로 침수방지 목적을 가지고 장기적으로 계획되었으며, 현재에는 일부 완성된 터널을 조절지로 잠정적으로 사용하고 있다. 이 계획은 지하 40m에 내경 10m~12.5m의 터널을 굴착하여 약 540,000m<sup>3</sup>의 우수를 저류할 수 있는데, 하천사업과 합류식 하수도 개선사업과 병행하여 추진하고 있는 과업이다. 특히, 하류 부에는 홍수범람을 막고 도심부의 침투 우수량을 저감시킬 수 있으면서 토지 이용을 효율적으로 이용할 수 있도록, 상·하부 구조로 유수지 공간을 개발하여 상부에는 주택단지 및 공원 광장을 설치하여 주민들의 레저, 휴식공간으로 제공하고 있다. 현재 공사구간을 2개의 사업구간으로 나누어 1구간 2km를 도로 밑 34~43m에 길이 4.5km, 외경 13.7m, 내경 12.5m의 터널을 약 5000억 원의 사업비로 최초 계획한지 10여 년만인 1996년 1차 완공하여 1997년부터 약

240,000m<sup>3</sup>의 저류시설을 확보한 결과, 1998년, 1999년 발생한 태풍과 호우 발생시 저류효과를 보는 등 피해를 방지할 수 있었다. 현재는 2구간 2.5km 사업구간으로 제2기 공사가 진행 중에 있다.

### 5.6 Osaka, Japan

#### - 오사카시의 대규모 침수대책 시설

이 시설은 오사카시의 대규모 침수대책의 일환으로서 대규모 우수 전용 관거를 지하터널로 건설하여 합류식 하수도의 우수를 저류 시킬 목적으로 1985년부터 시작하여 현재 건설 중에 있다. 방수로의 역할을 담당하는 터널의 규모는 최대직경 6.5m, 총연장 12.2km, 최대깊이 30m 의 재원을 갖는다. 또 하수도 관선으로서 土佐堀으로부터 津守까지의 터널은 최대 직경 6.25m, 총연장 6.7km 지하 22m 깊이에 건설되었으며, 현재 완성된 시설의 저류용량은 300,000m<sup>3</sup>이다. 소규모 강우의 빈도가 많은 오사카시에서 이 지하시설이 완성되면 총 900,000m<sup>3</sup> 규모를 가지게 되며 기설 하수관 4,300km 용량 200만 m<sup>3</sup>과 함께 합류식 하수도 개선에 기여할 것으로 판단하고 있다.

### 5.7 지하터널을 이용한 하수수송 시스템

Singapore(DTSS, Deep Tunnel Sewerage System), Hongkong(SSDS, Strategic Sewage Disposal Scheme)과 Bombay(The Bombay Sewerage Project) 등은 주변 하천이나 해역의 오염 저감을 위하여 지하터널을 이용한 효율적 하수수송을 계획하였다. Singapore의 경우 직경 6.5m의 터널이 약 80km에 걸쳐 지하 50m지점에 건설되어지며, 차집된 하수는 대형 하수종말처리장에서 처리한 후 해양방류시스템을 이용하게 된다. 홍콩의 SSDS는 16개의 집수지역과 sewerage network, sewage treatment facilities로 구성되어지는데, 첫 단계로 연장18.9km, 직경 1.6~3.7m의 터널이 해수면으로부터 80m정도 깊이에 건설 중에 있고, directional drilling기술에 의해 3.0km길이의 trunk sewers가 설치 중에 있다. 두 번째 단계로는 하수차집과 처리

를 위해 16.6km 길이의 하수운송터널을 구상 중에 있다. 터널을 통해 운반된 하수는 하수처리장에서 처리된 후 직경 6m, 길이 7.5km의 해양방류관을 통하여 해양으로 방출된다. Boston은 이미 지하터널을 이용한 하수 운송 및 해양방류시스템을 운영 중에 있다.

## 6. 국내현장적용에 관한 TARP 시스템의 경쟁성 검토 및 발전된 개념제시 필요

위에서 소개한 바와 같이 TARP가 도입된 지역은 호수, 해안 주위에 위치한 대도시들로 홍수초기의 우수 및 오수의 초기 오염부하를 저하시켜 방류시키는 목적으로 설계되어 졌다. TARP 시스템을 국내에 적용할 경우 TARP 시스템은 초기 오염부하 저감 외에도 도심의 홍수방지, 저류 수자원의 추후활용 등 지금 현재 우리가 안고 있는 한계를 극복할 수 있는 매우 훌륭한 방안이라 생각한다. 특히, 국내 도시에 적용할 경우 타당성 조사를 통하여 서울이나 부산과 같은 하천하류에 위치한 도시들과 대구와 대전 광주 등과 같이 하천 중류에 위치한 도시들을 분석하여 각 지역에 가장 타당한 규모와 방식의 TARP를 계획하여야 한다. 특히, 오염부하량이 큰 초기강우시 기존의 간선 하수관의 연계운영을 통해 오염부하가 높은 우수와 낮은 우수를 적절히 분배하고, 이를 통하여 터널내 저류되는 수자원의 수질이 일정수준 이상을 유지되게 하여 청천시 재활용이 용이하게 하는 시스템의 개발이 필요하리라 판단된다. 또한 TARP를 이용할 경우 하천의 수질제고와 홍수조절뿐 아니라 상당량의 저수가 가능하기에 오염정도가 양호한 수자원의 경우 재 이용할 수 있다. 따라서 TARP와 하수처리시설과 방류시설 등을 포괄하는 시스템구축이 반드시 연구되어야 한다. 이외에도 가뭄피해가 빈번한 소수지역에서는 TARP를 지하댐과 연계한 수자원 저장장치로, 홍수피해 빈도가 높은 지역에는 TARP를 기존 댐의 보조 홍수조절장치로 활용하는 방안과 차집된 수자원을 처리할 경우 지하수 대수층과 연계한 광범위 저류 시스템을 구축하는 등 적극적인

---

개념의 수자원확보방안 등도 연구할 필요가 있다.

TARP를 국내 현장에 설치하기 위해서는 상당한 설계기술을 요구하고는 있으나, 국내 연구와 외국 사례 검토를 통하여 확보 가능한 기술이라 판단된다.

따라서 고가의 기술료를 지불하는 것 보다 국내기술 개발을 통하여 원천 기술을 확보하는 것이 바람직하다고 생각된다. ●