

報 告

런던의 大深度 地下水道環狀幹線

李 錫 憲*

大深度 地下水道 管路의 布設에 關한 例로서 Thames 水道(Thames Water Public Limited Company)의 런던 水道環狀幹線은 그 규모·내용과 함께 大深度 地下水道施設로서 주목할만한 것이기 때문에 Thames 水道의 관계자가 발표한 각종 자료를 참고로 건설의 배경, 프로젝트 등에 대한 개요를 다음에 소개한다.

1. 序 論

(1) 從來의 런던 水道의 概況

종래의 런던 水道는 사용하는 물의 약 70%를 Thames江에서 取水하여 Hampton, Walton, Ashford Common, Kempton Park 및 Surbiton 등의 淨水場에서, 또 약 15%를 런던쪽의 리이江에서 取水하여 Coppermills Hornsey, Stoke Newington 등의 淨水場에서 처리하고 있다. 여기에 北東 및 南쪽의 地下帶水層의 地下水를 더하여 給水하고 있다. 일반적으로 물은 우선 펌프로 貯水池에, 貯留한 다음에 淨水場으로 보내진다. 대부분의 淨水場에서는 2段濾過시스템과 鹽素滅菌法이 채용되고 있다. 런던의 淨水場 대부분은 Thames변에 있고 淨水는 淨水場으로부터 東西로 뻗는 延長 1만 4천 5백km의 送水幹線에 의해, 또 일부는 지상에 노출된 15개의 大口徑 送水幹線에 의해 送水되고 있다(그림 1 참조). 또 약 60개의 독립적인 配水地域에는 500개 이상의 配水本管으로 配水하고 있고, 需要變動에 대처하기 위해 100개 이상의 配水池가 있다. 더우기 대부분의 물은 取水地點에서부터 공급지점까지 펌프장에서 3~4회 加壓되고 있어 에너지 의존형의 시스템으로 되고 있다.

(2) 水需要 증가에 따른 문제점

Thames江은 별도로 하고, 런던 근교의 水道水源은 현재의 용량 한도까지 사용되고 있으며, 이 이상의 取水는 Thames江이라든지, 石炭層의 帶水層에서의 取水에 의존하는 허점을 가지는 상황에 있다. 1991년부터 2006년에는 1日 平均 水需要量은 현행의 15%, 또 最大需要時는 30% 증가가 예측되고 있으며, 從來의 설비로는 이미 그 능력을 초과하기 때문에 새로운 대응책이 시급히 요구되고 있다.

從來의 送水幹線 시스템은 과거 120년에 걸쳐 건설되었고 최신의 것도 1952년에 완성된 것이다. 더우기 Ashford Common, Walton, Hampton 및 Surbinton 淨水場과 Merton Abbey 펌프 스테이션을 연결하는 南部터널을 제외하고, 이러한 送水幹線 전부가 구경 1.52m의 관이다.

런던의 西部地區에서는 직접 送水幹線으로부터 공급되기 때문에 공급은 안정되고 있지만, 多段의 펌프 스테이션을 경유하여 장거리 配水되는 지역에서는 夏期 건조한 기간에는 물부족이, 혹한기에는 凍結事故가 발생하고 있다.

最大需要時, 야간에 配水池를 滿水로 하기 위해서는 종종 정상적인 最大 水壓을 넘지 못할 수도 있고, 幹線의 조인트部の 漏水, 또 最大需要時에는 本管 파손사고의 발생이 증가하고 있다. 從來 방식의 增強 즉, 지상의 本管을 추가하고 기존의 淨水場을 개량하는 방법으로 이 수요증가에 대응하는 경우에는 지금보다 고압으로 送配水하는 것이 필요하며 施設의 노후화 등을 고려하면 기존시설의 漏水, 管파손, 펌프압송비용의 증대 등을 초래하고, 또 공사를 위해서는 교통량이 격심한 가운데에서 광범위한 지표 굴착이 필요한 것 등의 문제가 예상된다.

2006년을 목표로 하는 런던의 淨水場과 送·

* 서울대학교 도시공학과 환경연구실

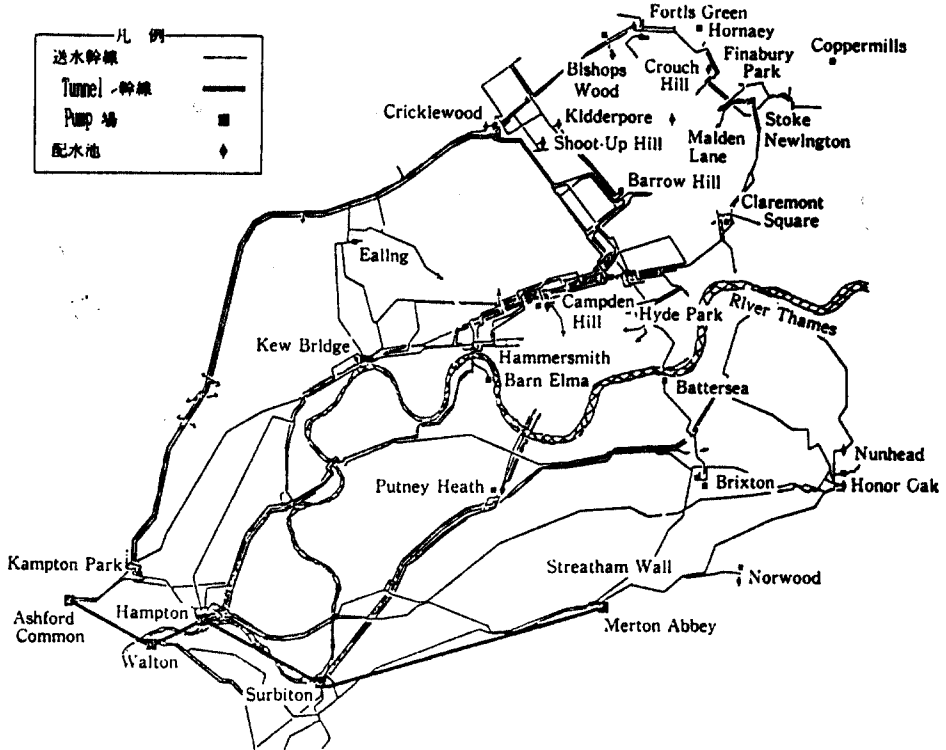


圖 1. 從來 London 送水幹線

配水 문제를 조사하기 위한 작업 group이 1984년 3월에 Thames 水道에 설치되어 검토가 행해진 결과, 이하에 서술하는 大深度 地下水道環狀 幹線 構상이 제안되어 1985년에 승인되었다.

2. 大深度 地下水道環狀 幹線構想

(1) 概 要

從來 방식에 대치되는 새로운 시스템인 大深度 地下水道環狀 幹線은 既設된 地下鐵 등 地下施設 群의 下層에 건설되는 것이며, 平均 深度 40m의 위치에 콘크리트 터널을 건설하여 淨水場으로부터 淨水를 自然流下로 이 터널에 流入하고, 터널과 既設의 配水幹線의 接점에 설치된 揚水立坑으로부터 펌프揚水하는 시스템으로 配水하는 것이다.

西部의 Ashford Common 淨水場부터 런던 중앙부 및 리이江을 橫斷하여 橢圓狀의 넓은 大深度 地下水道環狀 幹線은, 이미 1974년에 建設되

어 있는 Ashford-Merton간의 19km에 걸쳐 있는 南터널 本管을 포함하여 延長이 약 80km에 이르며 直徑 2.1~2.9m의 터널 本管으로 構成된다. 大深度 地下水道環狀 幹線의 물을 이용하는 각 지역의 配水體制 대부분은 옛날 그대로이지만, 配水區域에 대한 제검토가 실시되어졌다.

가령, 지형의 영향 때문에 많은 에너지를 필요로 하는 지리적으로 광범위한 配水區域에 대해서는 펌프비용을 최소화 하기 위해 몇개의 立坑 간에 그 配水區域을 분담하는 방법이 취해진다. 또, 병행하여 행해지는 淨水場의 합리화로서는, Thames 江邊에서는 Hampton, Walton, Ashford Common 및 Kempton이, 리이江邊에서는 Coppermills의 淨水장이 남겨지며, 나머지 4個所가 閉鎖된다. 나머지 淨水場은 다른 淨水장에 따르는 능력 감소와 장래의 수요증가에 대응할 수 있도록 시설의 근대화 와 처리능력의 증가가 행해진다. 또 Cheshut에 새로운 淨水장이 建設되어진다. 게다가 모든 淨水가 大深度 地下水道環狀

表-1. 大深度 地下水道環狀幹線의 主要 部分
單位 : km

• Ashfold Common—Merton 間	19.0
• Merton—battersea 間	11.0
• Battersea—Barrow Hill 및 Hyde Park 經由 New River Head	11.0
• Coppermills—stroke Newington	3.5
• Stroke Newington—New River Head	4.5
• Cricklewood—Barrow Hill	5.0
• Ashfold Commom—Cricklewood	22.0

幹線으로 송수가능하지만, Hampton, Ashford Common 및 Coppermills은 淨水場에서만 송수된다. 大深度 地下水道環狀幹線을 구성하는 주요부분은 표-1과 같다(그림 2, 3 참조).

大深度 地下水道環狀幹線의 송수능력은 130 만 m^3 /일이며, 이것은 현재 런던 전체의 1日 水需要量의 약 50%에 이른다. 평상시는 大深度 地下水道環狀幹線이 풀가동되어 기준공급량을 공급하며, 기준공급량을 초과하는 부분은 기존

의 本管에 공급되는 것으로 한다. 大深度 地下水道環狀幹線에 의해 배수되는 각각의 配水구역에서는 어떠한 淨水場으로부터의 물도 받을 수 있기 때문에 給水의 안정성이 강화된다. 또 각 구역마다 淨水處理量을 확장할 필요가 없어짐과 동시에 配水地容량을 1.25日分の 용량에서부터 0.95日分까지 삭감할 수 있다. 大深度 地下水道環狀幹線 방식에서는 施工時 지표의 굴착도 적게 되며, 또 peak時에도 현행의 水壓보다 약간 낮은 수압으로 운전되는 것으로 既設 配水幹線의 高壓운전도 완화되고, 대규모 에너지 절약이 가능하게 되며, 유지관리도 간단하게 된다.

(2) 建設計劃

당초 계획되고 있는 스케줄은 표 2와 같다. 현재의 실행계획에는 포함되어 있지 않지만, 장래 터널網의 확장 및 용량증강을 위해 몇개의 계획안이 고려되고 있으며, 이를 위해 제 1期 및 제 2期의 設計에서는 앞으로 추가되는 터널 結合用 施設이 포함되어 있다.

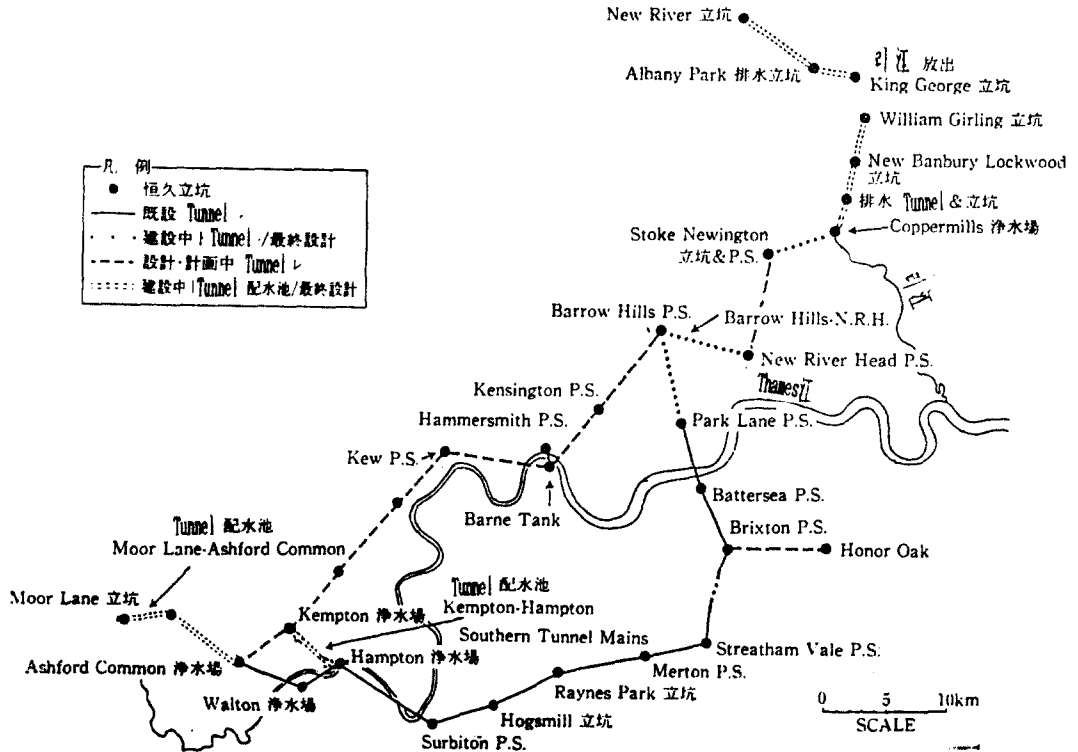


圖 2. London 水道環狀幹線 tunnel 計劃

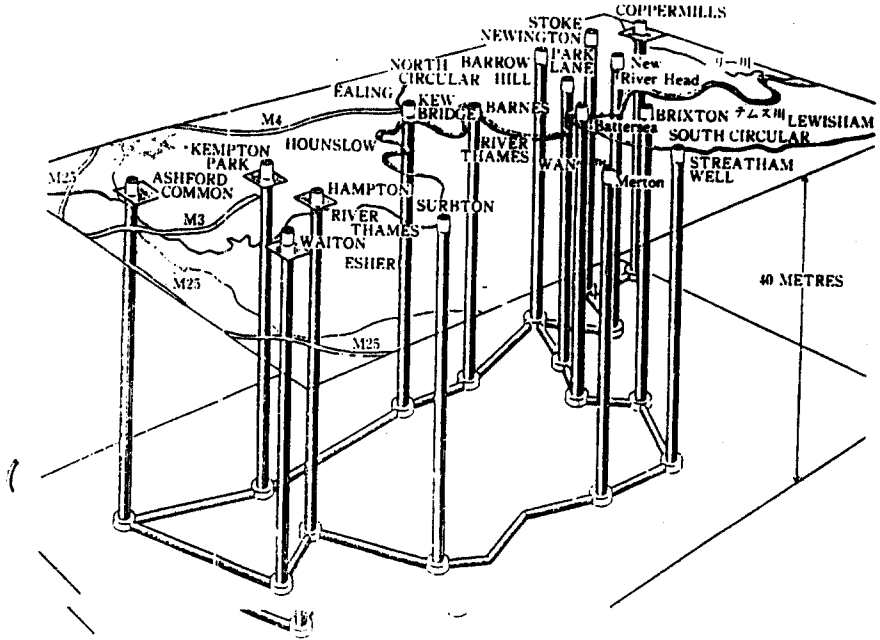


圖 3. London 地下水道環狀幹線과 立坑概念圖

表-2. 當初計劃 Schedule

(1) 第 1 期 計劃(1989~1991)

- ① 1988 Coppermills에서 Stoke Newington 間 Cheshut 淨水場의 運轉開始와 Hornsey 淨水場의 閉鎖
- ② 1989 Hampton 淨水場의 改造와 Barn Elms 淨水場의 閉鎖
- ③ 1990 Streatham, Battersea 및 Park Lane의 中間 펌프 揚水立坑을 가진 Merton에서 Barrow Hill 間, Stoke Newington 및 Surbiton 淨水場의 閉鎖.

(2) 第 2 期 計劃(1992~1994)

Kempton Park, Crame Park, Mogdon, Kew Bridge, Barnes 및 Holland Park Avenue에 中間立坑을 가진 Ashford Common-Barrow Hill 間

- (a) 런던에서의 將來 및 peak 需要時에 대한 對應
- (b) 특히 水壓에 관한 수요자 서비스 기준에 대한 對應
- (c) 水質의 維持
- (d) 水供給에 따른 社會的 環境問題에 대한 對應
- (e) 런던 水道의 하부구조 維持管理와 필요에 따른 改良
- (f) 送水에 필요한 에너지 코스트를 포함하여 長短期에 걸친 코스트의 低減

2) 設計方針

- (a) 自然流下 시스템에 의한다.
- (b) 가능한 Wedge Block Lining 工法에 의한 터널을 사용한다.
- (c) 중요한 地點에 배치된 揚水立坑으로부터 既設의 配水시스템으로 配水한다.
- (d) 각 配水區는 가능한 2개 이상의 揚水立坑으로부터 配水되도록 한다.
- (e) 터널의 어느 한 구간이 運轉停止되더라도 全體立坑이 運轉가능하도록 하기 위해, 모든 방향에서 물을 공급받을 수 있도록 벨브 조작이 가능하고 또한 故障區間的

3. 터널 入坑 및 主要設備

(1) 大深度 地下水道環狀幹線의 目的과 設計方針

앞에서 大深度 地下水道環狀幹線의 概要를 서술했으나, 그 目的과 設計方針을 정리하면 이하와 같다.

1) 目的

터널의 分離가 가능하도록 한다.

- (f) 通常 運轉 및 安全 시스템을 自動化하여, 遠隔地에서의 無人操作이 가능한 시스템으로 한다.

이하, 위와 관련된 터널, 立坑 및 主要設備에 대하여 紹介한다.

(2) 터널

大深度 地下水道環狀幹線은 런던 地下의 地質特性, 즉地下 75m의 깊이까지는 不透水性의 軟弱地盤으로, 터널건설의 이상적인 조건을 갖추고 있는 런던·클레이(粘土層)을 이용하여 터널을 構築하는 것이다. 이 粘土層에서는 코스트가 낮은 Wedge Block Lining 工法으로 터널 建設이 가능하다. 그러므로 터널의 深度 및 路線은 런던 밑의 런던·클레이의 展開狀況에 따라 결정한다. 그러나 일부에서는 다른 地層에 構築하지 않으면 안되는 경우도 있어, 이 경우에 Wedge Block Lining 公法은 實用的이지 못하여, 볼트 조임 철근 콘크리트 세그먼트 라이닝 또는 파이프 推進 工法과 같은 다른 工法이 사용된다.

4. 經濟性

大深度 地下水道環狀幹線의 採用에 있어서는 在來方式과의 비교한 것을 전술하였지만, 兩者의 經濟性 比較를 1984年에서 1985年에 걸쳐 Thames 水道에서 행한 결과를 소개한다.

이런 종류 戰略의 경제성에 대한 평가는 見積精度에 의한 cost의 신뢰성에 크게 좌우하는 것으로 말하기는 곤란하다.

예를 들면, tunnel 大深度 地下水道環狀幹線과 淨水場의 近代化를 위한 建設費用은 비교적 基礎見積으로 되어 있지만, 現存하는 幹線의 交替時期는 未定이기에, 現存하는 設備의 維持管理費用을 정확히 見積하는 것은 상당히 곤란하다.

Thames 水道에 서행하였던 20年 以上이 걸린 기간에서의 兩者의 費用比較에서, 補修에 의한 現存 設備의 유지와 增強의 資本費는 1억 7,500만 파운드이고, 한편 淨水場의 합리화와 tunnel 環狀幹線을 위한 자본비는 9,000만 파운드이고, 現존 설비의 유지증강에 의한 방법은 大深度 地

下水道環狀幹線을 고려한 쪽에 비해 倍 가까이 비용이 더 들어 갔다. 게다가, 大深度 地下水道環狀幹線計劃에서는 running cost의 低減을 기대할 수 있다.

- 즉, 1) 淨水場에서, 從來 高揚程의 pump 加壓에서 바뀌 自然流下의 大深度 地下水道環狀幹線에서 揚水할 경우의 에너지절약은 年間 4,200만 파운드.
- 2) 水處理를 새로운 경제적인 plant에 집중하는 것에 비해, 過費用의 저감에 의한 절약은 年間 60만 파운드.
- 3) Cheshunt의 새로운 淨水場건설에 의한 送水費用의 절약은 年間 60만파운드.
- 4) 水壓 低下에 의한 運轉費(送水費 제외)의 절약은 年間 30만 파운드.
- 5) 貯水의 供給連絡 合理化에 의한 운전비 절약은 年間 30만 파운드.
- 6) Cheshunt의 New River South 유지비 절약이 年間 25만 파운드.

以上の running cost 저감외에, 大深度 地下水道環狀幹線戰略의 채용에 따른 淨水場閉鎖에 의한 土地賣却으로 2,700만 파운드를 얻게 된다.

5. 結 論

國內에서도 公用道路의 淺深度空間에 각종 시설로 飽和될 것을 예상할 때 가까운 장래의 서울에도 大深度 地下空間에 施設을 설치할 날이 멀지 않은 것으로 생각된다.

결국 大深度 地下水道施設은 大規模投資를 필요로 하지만 장래 에너지를 고려한다면 장기적인 입장에서는 이상적인 시설이다.

상술한 London 水道環狀幹線計劃은 현재 증설이 진행중에 있는 大深度 Tunnel 등은 地層條件이 우리 서울地盤과 크게 다르기 때문에 이러한 공법들은 우리 나라에서는 직접 적용될 수는 없으나 System 구상시에는 참고로 할 수 있을 것이다. 따라서 위와 같은 것을 참고로 하고 또한 관계부처의 협력을 얻어 大深度 地下水道施設을 설치하는 방향으로 검토해 나가야 할 것으로 생각된다.