대심도 터널을 이용한 상수공급시스템

현인환 · 박희경 · 박중현
(단국대 • 한국과학기술원 • 서울대 교수)

1. 서 론

근래의 산업의 발전과 국민소득의 증대에 따라 수돗물의 안정공급과 질적 향상을 요구하는 사회적 요청은 더욱 더 강해지고 있어, 우리나라의 상수도도 이제는 국민생활의 기반을 이루는 생명선(lifeline)으로서 정착되고 있다. 그러나, 수도관로를 둘러싼 환경은 이러한 요청에 부응하지 못하여 관로의 노후화나 수요구조의 변화에 따른 지역적인 수압불량, 노후화에 따른 누수, 파열사고 및 적수를 비롯한 수질문제 등의 과제를 안고 있다. 또한 lifeline 기능의 안정확보면에서는 배수간선들을 연결하는 Back-up 시스템의 확보, 배수의 균등화, 안정화를 위한 배수지 정비, 지원기능의 강화 등이 중요한 문제로 되고 있다. 특히 대도시의 시가지는 상수도를 비롯한 하수도, 지하철, 전기, 가스, 통신, 지하도 등 지하공간의 이용이 고도로 진행되고 있어, 향후 필요한 수도시설을 정비함에 있어서는 공간적 제약을 상당히 받게 될 것이 예상되고 있다. 이러한 이유로 장래에는 대심도 지하공간을 이용하여 수도관로 등을 부설할 필요가 있을 것으로 생각된다.

이러한 관점에서 대심도 지하수도시설의 특징과 대심도 지하수도시설의 예로서 Thames Water Ring Main의 개요를 소개한다.

2. 대심도 수도시설

2.1 대심도 수도시설의 정의

대심도 지하의 정의로서 현재까지 통용되고 있는 일반적인 개념은 다음과 같다. 대심도 지하란 일반 토지소유자 등에 의해 보통 이용되지 않는 지하공간으로, 구체적으로는 지하실 등의 지하공작물이 통상 존재하는 깊이보다 밑에 있으며 건축물의 기초저부가 통상 도달하는 양호한 지반보다 밑에 있는 지하공간을 말한다. 지상에서의 깊이는 경우에 따라 다르나 일반적으로 "40m~50m 이상 깊이의 지하"로 정의되고 있다.

대심도 수도시설이란 이와 같이 지표면으로부터 40m~50m 이상 깊이의 지하에 설치된 수도시설을 말하며 대심도 수도시설에는 지상과의 연락시설이 필요하기 때문에 입갱(立坑)에 대해서는 그 깊이에 관계없이 대심도 수도시설에 포함시킬 수 있다. 대심도 수도시설의 종류로서는 수송시설(도수관, 송수관, 배수관), 저수시설(원수조정지, 송수조정지, 배수지)과 정수시설(정수장) 등이 있다.

2.2 대심도 수도시설의 필요성

대심도 수도시설은 다음과 같은 이유로 건설 및 추진되고 있다.

(1) lifeline 기능의 확보

재해시나 가뭄시에도 안정급수의 확보가 요구되고 있으며, 그 대응책으로서 공급경로의 복수화에 의해 상호 보완하거나, 저류기능의 향상에 의해 비상시에도 대응할 수 있도록 수도시설의 정비가 요구되고 있다.

(2) 신규 수요에 대한 대응

대도시 및 그 주변부에서는 1세대당 인구의 감소, 인구와 산업의 집중이 진행되어 완만하나마 물 수요의 증가가 전망됨과 아울러 가뭄시 등의 균등급수의 실시나 직결급수의 확대 등의 과제에 대처하기 위해 확장증설 및 기능개선 등이 요구되고 있다.

(3) 노후시설의 갱신

수도시설은 시간의 경과와 함께 그 기능이 저하되며, 특히 지하에 매설된 관로 등은 적절한 시기에 계획적으로 갱신할 필요가 있다.

(4) 수질의 확보

원수의 수질악화가 우려되는 반면, 수요자 측의 안전하고 맛있는 물에 대한 요구에 응하기 위해 도시지역의 하천하류부의 수도 등에 대해 고도정수처리의 필요성이 높아지고 있다. 그러나, 필요한 공간이 부족하고, 용지를 취득하기가 곤란해 질 것이 예상되므로 계획적으로 시설을 정비하기 위해서는 대심도 지하이용이 불가피한 수단으로 되고 있다.

2.3 대심도 수도시설의 이점

대심도 지하를 이용한 수도시설의 도입에 따른 이점은 일반적으로 다음과 같다.

① 최단경로를 선택할 수 있다 : 대심도를 이용할 경우에는 기존 매설물, 지상권 등에 구애받지 않고 자유롭게 설치장소를 선택할 수 있으므로 수도관거와 같은 시설의 부설에 있어서는 목적지까지의 최단경로를 선택할 수 있다. 또한 지상의 요철(凹凸)에 영향을 받지 않으므로 경로의 도중에 가압대책이 불필요하여 에너지를 절감할 수도 있다.

② 대규모 연락관거를 부설할 수 있다 : 대심도 지하를 이용하는 경우에는 대구경 관거가 다른 요인에 의해 영향을 받지 않고 원하는 위치에 설치할 수 있기 때문에 연락관거 또는 저류기능을 갖춘 대구경 관거를 부설할 수 있다.

③ 최적지에 수도시설을 설치하거나 기존 위치에서 확장할 수 있다 : 대심도 지하의 이용에 따라 배수지 등을 최적지에 설치할 수 있다. 또한 기존 시설의 지하공간을 이용하면 그 위치에서 시설확장도 가능하다.

④ 수도시설의 안정성을 향상시킬 수 있다 : lifeline 시설로서 수도시설에 안정성을 갖게 하는 것이 중요과제이다. 대심도 지하를 이용함으로써 비교적 양호한 지반에 시설을 구축할 수 있고, 지상의 재해시나 지진시에도 대심도에서는 영향이 작기 때문에 안정성이 향상된다.

⑤ 환경개선을 기대할 수 있다 : 수도시설로서 펌프시설, 발전시설 등 소음을 발생시키는 시설의 설치는 불가피하나 지하공간은 방음성, 차음성이 우수하기 때문에 이러한 것을 지하에 설치하면 소음이 차단되어 환경개선의 효과를 기대할 수 있다.

⑥ 도시 중심부의 수도시설용지를 재개발할 수 있다 : 대도시 등에 있어서 도시 중심부에 설치되어 있는 기존의 정수장, 배수지 등을 대심도 지하공간으로 이설하면, 종래 수도시설에 이용되었던 천심도 지하와 지상공간을 타 용도로 이용할 수 있다.

3. 런던의 대심도 지하수도환상간선

3.1 도입 배경

종래의 런던 수도는 사용하는 물의 약 70%를 Thames강에서 취수하며, 약 15%는 런던쪽의 리이강에서 취수하고 나머지는 지하수를 취수하고 있다. 이러한 정수는 런던의 정수장으로부터 동서로 뻗는 연장 1만 4천 5백km의 송수간선에 의해, 또 일부는 지상에 노출된 15개의 대구경 송수간선에 의해 송수되고 있다. 또 약 60개의 배수지역에서는 500개 이상의 배수본관

으로 배수하고 있고, 수요변동에 대처하기 위해 100개 이상의 배수지가 있다. 대부분의 물은 취수지점에서부터 공급지점까지 펌프장에서 3~4회 가압되고 있어 에너지 의존형 시스템이다.

또한 런던 근교의 수도수원은 현재 한계용량까지 사용되고 있다. 이러한 상황에서 1991년부터 2006년까지는 1일 평균수요량은 현행의 15%, 또 최대수요시는 30% 증가가 예측되고 있으며, 기존 설비로는 이미 그 능력을 초과하기 때문에 새로운 대응책이 시급히 요구되고 있었다. 또한 종래의 송수간선 시스템은 과거 120년에 걸쳐 건설되었고 1952년에 완성된 것도 비교적 최신인 실정이다. 따라서 간선 연결부로부터 누수가 많으며, 또한 최대수요시에는 본관 파손사고의 발생이 증가하고 있다.

이러한 상황에서 종래 방식 즉, 천심도에 본관을 추가하고 기존의 정수장을 개량하는 방법으로 수요증가에 대응할 경우에는, 기존보다 고압으로 송배수해야 하며 시설의 노후화 등을 고려하면 기존시설의 누수, 관파손, 펌프압송비용의 증대 등을 초래할 우려가 있다. 또한 공사를 위해서는 교통량이 많은 장소에서 광범위한 지표 굴착을 해야 하는 등의 문제가 예상되어 새로운 system이 검토되었다.

3.2 대심도 지하수도 환상간선의 개요

2006년을 목표로 하는 런던의 정수장과 송·배수 문제를 조사하기 위해 1984년 3월에서부터 검토를 시작한 결과, 대심도 지하수도환상간선 구상이 제안되어 1985년에 승인되었다. 새로운 시스템인 대심도 지하수도환상간선은 기설된 지하철 등 지하시설군의 하층에 건설되는 것이며, 지하 30m~70m의 위치에 콘크리이트 터널을 건설하여 정수장으로부터 정수를 자연유하로 이 터널에 유입시키고, 터널과 기존 배수간선의 접점에 설치된 양수입갱으로부터 펌프양수하는 시스템이다.

서부의 Ashford Common 정수장부터 런던 중앙부 및 리이강을 횡단하여 타원상의 넓은 대심도 지하수도환상간선은, 이미 1974년에 건설된 Ashford-Merton 사이의 19km에 걸쳐 있는 남터널 본관을 포함하여 연장이 약 80km에 이르며 직경 2.1~2.9m의 터널로 구성되어 있다. 대심도 지하수도환상간선의 물을 이용하는 각 지역의 배수체제 대부분은 옛날 그대로이지만, 배수구역은 재검토되었다.

정수장의 합리화를 병행하여, 4개소의 정수장이 폐쇄된다. 나머지 정수장은 다른 정수장에 대응할 수 있도록 시설의 근대화와 처리능력의 증가가 행해진다. 또 Cheshunt에 새로운 정수장이 건설되어 진다.

대심도 지하수도환상간선의 송수능력은 130만m^3/일이며, 이것은 현재 런던 전체의 1일 수요수량의 약 50%를 상회한다. 평상시는 대심도 지하수도환상간선이 풀가동되어 기준공급량을 공급하며, 기준공급량을 초과하는 부분은 기존의 본관에서 공급된다. 대심도 지하수도환상간선에 의해 배수되는 각각의 배수구역에서는 어떠한 정수장으로부터의 물도 받을 수 있기 때문에 급수의 안정성이 강화된다. 또 각구역마다 정수처리량을 확장할 필요가 없어짐과 동시에 환상간선의 저류능력에 의해 배수지용량을 삭감할 수 있다. 대심도 지하수도환상간선 방식에서는 시공시 지표의 굴착도 적게되며, 또 최대사용시에도 현행의 수압보다 약간 낮은 수압으로 운전할 수 있어 기존 배수간선의 고압운전도 완화되고, 에너지를 크게 절약할 수 있고, 유지관리도 간단하게 된다.

표 1. 대심도 지하수도간환상간선의 주요 부분

단위 : km

• Ashford Common에서 Merton까지	19.0
• Merton에서 Battersea까지	11.0
• Battersea에서 Barrow Hill 및 Hyde Park경유 New River Head까지	11.0
• Coppermills에서 Stoke Newington까지	3.5
• Stoke Newington에서 New River Head까지	4.5
• Cricklewood에서 Barrow Hill까지	5.0
• Ashford Common에서 Cricklewood까지	22.0

그림 1에서 보듯이 이 계획은 제1기(1989~ 되었다.
1991)와 제2기(1992~1994)로 나뉘어져 수행

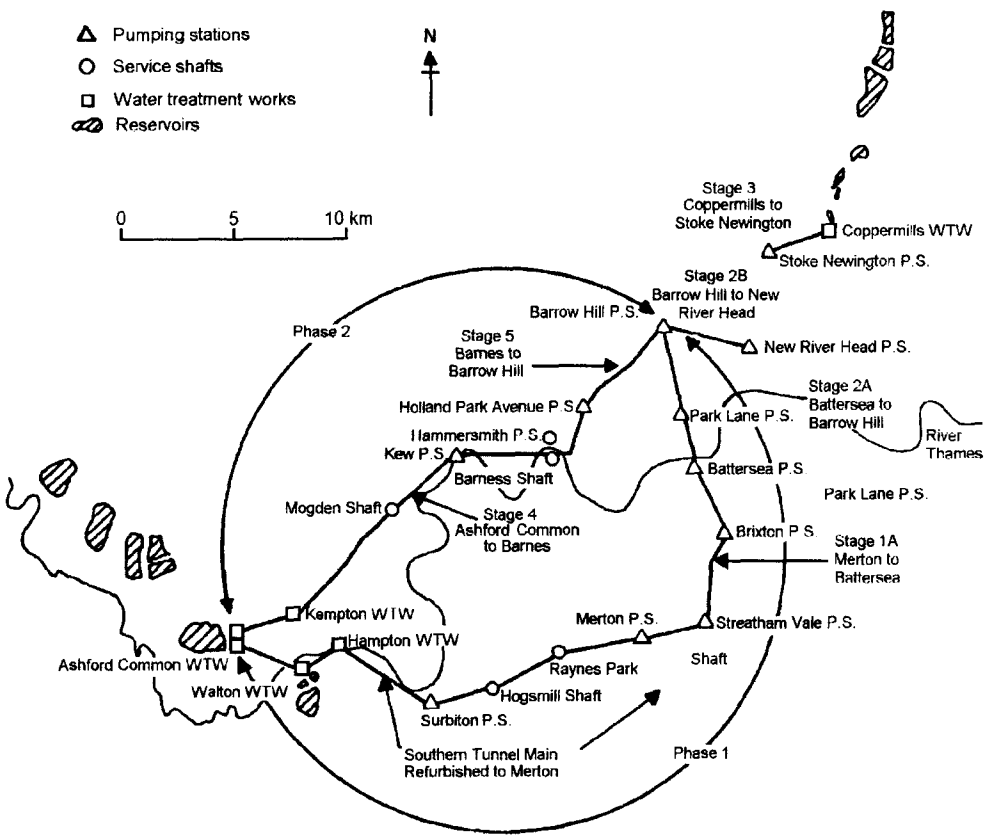

그림 1. Thames Water Ring Main tunnel 계획

3.3 설계방침과 터널 공법 계획

Thames 대심도 지하수도환상간선의 설계방침을 정리하면 이하와 같다.

(1) 대심도 지하수도환상간선 설계방침

ⓐ 자연유하 시스템으로 한다.

ⓑ 중요한 지점에 배치된 양수입갱으로부터 기존 배수시스템으로 배수한다.

ⓒ 각 배수구역은 가능한 한 2개 이상의 양수입갱으로부터 배수되도록 한다.

ⓓ 터널의 어느 한 구간이 운전정지되더라도 전체 입갱을 운전할 수 있도록 하기 위해, 모든 방향에서 물을 공급받을 수 있도록 하고, 또한 고장구간 터널을 분리할 수 있도록 한다.

ⓔ 운전 및 안전 시스템을 자동화하여 원격지 무인조작 시스템으로 한다.

(2) 터널 공법

대심도 지하수도환상간선은 런던 지하의 지질특성, 즉 지하 75m의 깊이까지는 불투수성의 연약지반으로, 터널건설의 이상적인 조건을 갖추고 있는 런던·클레이(점토층)를 이용하여 터널을 구축하는 것이다. 이 점토층에서는 비용이

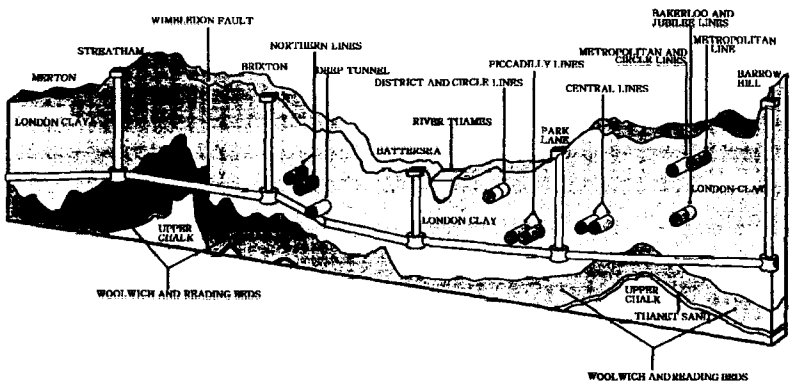

그림 2. Thames Water Ring Main의 터널 모식도

저렴한 Wedge Block Lining 공법으로 터널을 건설한다. 따라서 터널의 심도 및 노선은 런던·클레이의 전개상황에 따라 결정한다. 그러나 일부에서는 다른 지층에 구축하지 않으면 안되는 경우도 있어, 이 경우에 Wedge Block Lining 공법은 실용적이지 못하여, 철근 콘크리트 세그먼트 라이닝 또는 파이프 추진 공법과 같은 다른 공법을 채택한다.

4. 경제성

Thames 수도에서 1984년에서 1985년에 걸쳐 대심도 지하수도환상간선과 재래방식과의 경제성 비교한 결과는 다음과 같다. 즉, 전체적으로 보면, 기존 설비의 유지증강에 의한 방법이 대심도 지하수도환상간선을 채용하는 쪽에 비해 2배 가까이 비용이 더 소요된다고 판단하였다. 또한 대심도 지하수도환상간선계획에서는 년간 4405 파운드의 running cost의 절약을 기대할 수 있고, 대심도 지하수도환상간선 전략의 채용에 따른 정수장폐쇄에 의한 토지매각으로 2,700만 파운드를 얻게 된다고 판단하였다.

5. 결 론

대심도 지하수도시설은 대규모 투자를 필요로 하지만 장래 에너지를 고려한다면 장기적인 입장에서 대도시에서는 이상적인 시설이라 할 수 있다. 국내에서도 공용도로의 천심도공간에 각종 시설로 포화될 것을 예상할 때 가까운 장래의 서울에도 대심도 지하공간에 시설이 설치될 때가 멀지 않은 것으로 예상된다.

다만 London 수도환상간선계획은 지층조건이 우리나라의 수도권 지반과 크게 다르기 때문에 이러한 공법들은 우리나라에서는 직접 적용될 수는 없으나 System 구상시에는 참고로 할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. The Institution of Civil Engineers, Thames Water Ring Main, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Vol. 102, Special Issue 2, 1994
2. IWEM, A Unique Approach to Metropolitan Water Supply–Thames Water Ring Main, The Institution of Water & Environmental Management, 1994
3. 寺澤 清, ロンドンの水道環狀幹線(上), 水道公論, 第28卷第6號, 1992. 6
4. 寺澤 清, ロンドンの水道環狀幹線(下), 水道公論, 第28卷第7號, 1992. 7