

안정적 물 공급을 위한 대심도 송수시스템의 도입

박희경 (한국과학기술원 토목공학과 교수)

현인환 (단국대학교 토목공학과 교수)

박중현 (서울대학교 도시공학과 교수)

주대성 (한국과학기술원 토목공학과 박사과정)

이재룡 (한국수자원공사 수도관리처 부장)

1. 머리말

사람의 건강은 심장을 중심으로 혈액이 온몸을 돌면서 필요한 영양소와 산소를 공급하고 세포의 신진대사활동결과 생긴 노폐물을 수거해 주는 체순환과 허파를 돌아오면서 이산화탄소를 내보내고 산소를 공급받는 폐순환이 잘 분리되어 조화롭게 그 기능을 수행할 때만이 활발한 생명력을 유지해 갈 수 있다. 도시의 생명력 역시 이와 마찬가지로 정수장에서 처리된 상수가 가정에까지 운송되는 도중 하수나 그 밖의 오염원에 오염되지 않고 그 수질을 유지하여 공급될 때 소비자가 믿고 마실 수 있게 될 것이다.

먹는 물로서의 신뢰를 얻지 못하고 있는 오늘날의 수도환경에서 일반국민들이 약수터나 생수 등에 의존하고 있는 경우가 많으며 정수기 구입 등에 따른 부담도 점차 늘어나고 있는 추세이다. 노후화된 관로의 부식이나 원수 수질의 악화, 대형 수질사고 등으로 인한 수도 수질 저하에 기인한 것으로, 보다 근본적이고 신뢰성 있는 수질대책으로 국민들의 신뢰를 회복하는 일이 중요하다.

1995년말 현재 전국의 수도시설은 94년의 수도역사에 공급규모가 하루 2천 1백만톤에 이르면서 일부 시설은 수명이 다하여 관로파열 사고가 빈번하며 이에 따른 물 공급 중단사태가 또한 빈번한 실정이다(환경부, 1996). 따라서 노후화 된 지하매설 관로를 과학

적 판단에 근거, 적절한 시기에 갱신할 필요가 있다. 그러나 기존 관로가 대부분 공공 도로밑에 매설되어 있고 이러한 매설공간이 점차 포화상태에 도달할 것으로 예상됨으로써 앞으로 기존 간선을 확장하거나 교체하는 일은 용지확보면 등에서 고비용의 어려운 작업이 될 것으로 사료된다. 더구나 각종 시설의 보수공사에 따른 잦은 도로 굴착으로 도시내 교통흐름과 시민생활에 상당한 불편을 초래하는 경우도 앞으로 지양해야 될 것이다.

한편 수도권 광역상수도 용수수요량은 6단계 사업이 완료되는 2006년 이후에도 완만하나마 지속적으로 증가할 추세이며 이에 따라 갈수시의 균등급수, 직결급수 확대 등에 대처할 수 있는 수도시설의 확장 증설 및 기능 개조가 필요하다(한국수자원공사, 1996). 그러나 기존의 급수체제로 증가하는 수요량을 충족시키기 위하여 고압으로 공급하는 경우에, 고압수가 노후관에 미치는 영향을 고려하면 관로파손이나 누수 발생이 우려되고 이에 따른 수량 손실 및 수질 저하의 위험이 있다. 따라서 공급경로 설정 및 용량 확보, 유지관리면 등에서 체계적이고 효율적인 수도 공급 시스템을 구축할 필요가 있다. IMF를 당하여 우리가 현재 당면하고 있는 어려움을 먼저 경험하고 지혜롭게 대처해간 영국 런던의 대심도 환상송수관로시스템(Thames Water Ring Main, TWRM)의 사례를 들어 본고에서는 대심도 송수시스템의 도입에 관하여

논하고자 한다.

2. 런던의 대심도 환상송수관로시스템 (TWRM)

2.1 개요(Bensted, 1994)

기존의 상수공급방식에 대치되는 새로운 시스템인 대심도 TWRM은 정수장, 관련 펌프장, 급수지역, 기존 간선의 관망 시스템 등을 포함한 기존 시스템의 주요 지점을 적절히 연결하기 위해 지하 40~50 m 깊이에 터널을 뚫어 정수장에서 생산한 상수가 합리적으로 활용되고 공급시 융통성이 확보되도록 하는 급수체계를 말한다.

그림 1에 제시된 바와 같이, TWRM은 서부의 Ashford Common 정수장으로부터 런던 중앙부 및 리이강을 횡단하여 타원상의 구조를 가지며, 이미 1974년에 건설되어 있는 Ashford-Merton간의 19km에 걸쳐 있는 남터널 본관을 포함하여 연장이 약 80km에 이르며 직경 2.1~2.9m의 터널 본관으로 구성된다.

TWRM의 물을 이용하는 각 지역의 배수체제 대부분은 옛날 그대로이지만, 배수구역에 대한 재검토가 실시되어졌다. 가령, 지형의 영향 때문에 많은 에너지를 필요로 하는 지리적으로 광범위한 배수구역에 대해서는 펌프비용을 최소화 하기 위해 몇 개의 입갱간에 그 배수구역을 분담하는 방법이 취해졌으며, 병행하여 행해지는 정수장의 합리화로서는, Thames 강변에서는 Hampton, Walton, Ashford Common 및 Kempton이, 리이강변에서는 Coppermills의 정수장이 남겨지며, 나머지 4개소가 폐쇄되었다. 남겨진 정수장은 다른 정수장 폐쇄에 따르는 정수능력의 감소와 장래의 수요증가에 대응할 수 있도록 시설의 근대화화 처리능력의 증가가 이루어졌으며, 또 Cheshut에 새로운 정수장이 건설되어졌다. 정상 운전시 모든 정수장에서 TWRM을 통해 송수하게 된다.

TWRM의 송수능력은 130만 m^3 /일이며, 이것은 현재 런던 전체의 1일 물수요량의 약 50%에 이른다. 평상시는 TWRM이 완전가동되어 기존공급량을 공급하며, 기존공급량을 초과하는 부분은 기존의 본관에서 공급하는 것으로 되어있다.

TWRM에 의해 공급되는 각각의 급수구역에서는 모든 정수장으로부터 물을 공급받을 수 있기 때문에 급수의 안정성이 확보된다. 또 각 구역마다 정수처리량을 확장할 필요가 없어짐과 동시에 배수지용량을 1.25일분의 용량에서부터 0.95일분까지 삭감할 수 있다. 또한, TWRM 방식에서는 시공시 지표의 굴착도 적게 되며, 또 첨두수요시에도 현행의 수압보다 약간 낮은 수압으로 운전이 가능하므로 시설 배수간선의 고압운전도 완화되고, 대규모 에너지 절약이 가능하게 되며, 유지관리도 간단하게 된다.

또한 자연유하식에 의해 원하는 위치에 물을 공급하도록 되어 있으므로 일년에 수백만 파운드

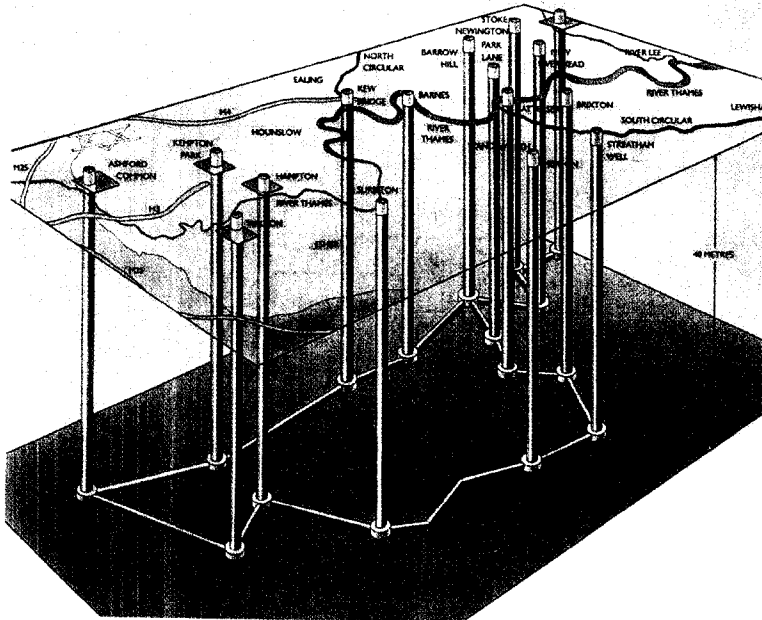


그림 1. 런던 대심도 송수관로시스템 모식도

의 운전비용 절감효과를 볼 수 있으며, Ring Main의 총공사비 2억 5천만 파운드를 상쇄하는 효과를 가져다 주게 된다.

2.2 TWRM 관리의 목표(Dickens, et al., 1988)

TWRM 관리의 세 가지 주요 목표는 다음과 같다.

- 수량 : 현재에도 계속 구간 확장중이다. 특히, Ring Main의 가운데를 가로지르는 관을 설치중이다.
- 신뢰성 : 이는 수질과 관계된 내용으로 링내에 있는 주요 shaft 에 위치한 Local Control 과, 세곳의 water treatment control center에서 수질을 체크하며, 전체 시스템은 Hampton 본부에서 통제하는 피라미드식으로 구성되어 있다.
- 안전성 : 전체를 총괄하는 Hampton의 control center에서 운영하도록 되어 있다.

2.3 목적과 시설설계방침(Dickens, et al., 1988)

대심도 지하수도 환상간선의 목적과 설계방침을 정리하면 아래와 같다.

- 목적
 - 런던에서의 장래 및 peak 수요시에 대한 대응
 - 특히 수압에 관한 수요자 서비스 기준에 대한 대응
 - 수질의 유지
 - 수공급에 따른 사회적 환경문제에 대한 대응
 - 런던 수도의 하부구조 유지관리와 필요에 따른 개량
 - 송수에 필요한 에너지 비용을 포함하여 장단기에 걸친 비용의 저감
- 설계방침
 - 자연유하시스템에 의한다.
 - 가능한 Wedge Block Lining 공법에 의한 터널을 사용한다.

- 중요한 지점에 배치된 양수입갱으로부터 시설 배수시스템으로 배수한다.
- 각 배수구는 가능한 2개 이상의 양수입갱으로부터 배수되도록 한다.
- 터널의 어느 한 구간이 운전정지되더라도 전체 입갱이 운전가능하도록 하기 위해, 모든 방향에서 물을 공급받을 수 있도록 밸브 조작이 가능하고, 고장구간의 터널의 분리가 가능하도록 한다.
- 통상 운전 및 안전 시스템을 자동화하여, 원격지에서의 무인조작이 가능한 시스템으로 한다.

• 터널설비

대심도 지하수도 환상간선은 런던 지하의 지질특성, 즉 지하 75m의 깊이까지는 불투수성의 연약지반으로, 터널건설의 이상적인 조건을 갖추고 있는 런던 점토층을 이용하여 터널을 구축하는 것이다. 이 점토층에서는 비용이 낮은 Wedge Block Segemental 공법으로 터널 건설이 가능하다. 그러므로 터널의 심도 및 노선은 런던 밑의 런던 클레이의 전개상황에 따라 결정한다. 그러나 일부에서는 다른 지층에 구축하지 않으면 안되는 경우도 있어, 이 경우에 Wedge Block Segemental 공법은 실용적이지 못하여, 볼트조임 철근 콘크리트 세그먼트 라이닝 또는 파이프 추진 공법과 같은 다른 공법이 사용되었다.

2.4 운전상의 고려사항(Dickens, et al., 1988)

환상형 수도시설은 현재 런던의 일일평균 공급량의 50%에 해당하는 1100 백만리터/일의 처리수를 서쪽에서 동쪽으로 공급하고 있으며, 마찰손실을 작게 유지하도록 최적유속은 1.25m/s로 가정하여 설계되었으며, 터널내에서의 최대유량은 550 백만리터/일이다. 한편, 설계유량이 증가되면 높은 수두손실을 감소시키기 위해 더 깊게 파야만 하며, 일반적으로 환상형 수도시설은 최대용량에서 운전되며 기저부하를 공급하게 된다.

지표에 관을 매설하는 기존의 대부분의 시스템은 매일 혹은 그 이상의 수요변동을 유지, 조절할 수 있어야 하나, 대심도 시스템에서는 침투기간에서도 현

재 일반적인 운전압력보다 상당히 낮은상태에서도 운전할 수 있다.

처리수가 살균 접촉조를 거친후에 가능한 빨리 터널시스템안으로 공급되도록 하여야 한다. 또한, 수두조절과 용량균등화를 위해 Barnes의 기존 탱크 사용을 고안하여 공급 펌프의 양흡입수두(positive suction level)가 유지되어, 흡입수두의 급속한 변화를 피하도록 했다.

전체시스템의 요구사항과 운전모드를 결정하기 위한 기준은 다음과 같다.

- 터널의 최소 운전수위는 -7.0 m (AOD)
- 정상운전하에서 터널에 공급 할수 있는 최대유량은 1320 백만리터/일
- 전체중 한부분에서 터널에 공급 할수 있는 최대 유량은 990 백만리터/일
- 조정조내에서 최대와 최소수위를 유지할 필요성
- 침투일에 저수지 고갈에 문제가 없을 최대 유량 (80%)
- 지역기초에 의해 변화하는 지역의 최소압 요구량
- 잔류간선 시스템에서 최대 유속은 1.5m/s를 넘지 않아야 한다.
- 대심도 중력식 터널 시스템에서도 압력파로 인하여 터널과 그와 연결된 장치의 손상을 방지하고, 조절하기 위한 장치가 요구된다. 이러한 장치가 없다면, 환상간선의 대부분에 2차의 간선설치가 필요하게 된다. 압력을 조절하기 위한 각각의 surge관이 필요하며, 잉여수는 폐수처리관으로 보내거나 별도의 집수조에 모으도록 설계한다.

2.5 컴퓨터 모델링(Dickens, et al., 1988)

최종경로를 결정하기 전에 그리고 다양한 관들로부터 배출되는 고정유량과 공급방법을 결정하기 전에, 모든 운전상 문제점이나 기본적 운전상태를 고려하는 분석이 선행되어야 한다. 그러므로 초기단계에서, 환상간선 배치나 기존 간선시스템에 대한 컴퓨터 모델링이 필요하다.

처음에, 비록 근본적으로 터널내 펌프의 위치나 크기에 따라 변화될 수 있는 값이지만, 터널시스템에 대

한 선형 분석으로 최소 흡입 요구량(Minimum suction requirement)이 예측되었다. 간소화된 지역에서 기존의 간선분배시스템에 결합되는 간단한 환상 간선배치는 Water Research Center의 WATNET 네트워크 분석 프로그램에 의해 수행되었다. 모형화에 있어서 가장 어려운 문제는 터널의 일부구간이 사용되지 않을 때 유량의 역류를 요구하는 것이었다. 몇 가지 경로 사양에 대하여 시뮬레이션하였다. 이들 경로는 수요 중심까지의 수두 경사에 크게 영향을 미치지 않는다는 결론을 얻었다. 몇 가지 제한 내에서 결론은 배수시스템으로 공급되는 위치와 수량이 터널의 물리적 구성보다 훨씬 중요하다는 것이었다. WATNET 해석 결과들은 양수비용에 근거하여 경로 사양들을 비교하기에 충분하였다.

동시에 여러 지역에 대한 분석을 가능하게 하기 위해서 WATNET 모델의 수정이 필요했다. 제한된 정확도내에서 진행을 용이하게 하기 위해 자세한 펌프 모델링 대신에 non-return밸브가 지정되었고, 시스템수두는 제외되었다. 터널로부터 각 펌프는 non-return밸브로 대체되었고, 저수지는 정상적으로 감소되었지만 표시된 마디와 간선들은 음의 수요를 가지는 것으로 시뮬레이션 되었다. 이러한 법칙이 허용하는 배출수에 대한 모델링으로 자연적인 선택, 예를 들어 최소의 저항을 가지는 선이 결정되었다. WATNET모델이 비록 경로선택을 고려하고 최소 비용이 드는 운전모드에 관한 기초를 결정하는 밸브기는 하지만 시스템의 각 요소부분사이의 상호작용 분석이 충분하지 못하였다. 즉, 계획의 목적에는 부응하지만 결과에 대한 확실한 한계는 장래의 운전방법을 결정할 수 있을 만큼 정확하지 못하다는 것이다.

한편, 1986년초, Leicester Polytechnic은 환상간선 계획에 관한 모델과 GINAS 프로그램을 사용하여 배수지와 기존펌프를 포함하는 주요 상수공급시스템의 모델을 개발하도록 위탁받았다. 다음은 그 세부사항을 나타내고 있다.

(a) 기존 지선 분배관을 고려하지 않은 초기

- WATNET 네트워크분석 결과의 확인
- (b) 환상간선과 기존간선급수시스템사이의 상호작용의 평가
- (c) 비상시와 정상시 운전상태에 관한 연구
- (d) 주펌프 작동시 요구되는 사항의 평가
- (e) 환상간선의 균형 용량 요구에 관한 연구

초기의 시뮬레이션 목적은 각각의 압력지역을 간단히 나타내기 위한 것이었다.

이러한 정보를 준비하기 위해 환상간선 계획으로 영향을 받게될 모든 분배지역에 대한 네트워크분석이 이미 실행되었다.

시뮬레이션이 이루어짐에 따라 각각 지역에서 실행되는 것이 처음에 생각했던 것처럼 독립적이지 못하다는 것이 명백히 드러났다. 시뮬레이션에 있어 지역

네트워크와 그들의 상호작용에 대해 충분히 고려하는 것이 강조되었다. 그러나 런던의 공급을 구성하고 있는 60개 급수지역에서 500개 이상의 주요간선을 포함하고 있으므로 시뮬레이션 하는데 있어서 더욱 간단히 표현하는 것이 필요했다. 상세한 모델과 같은 정도의 동적이행결과를 얻는 것이 바로 시뮬레이션을 간단히 하려는 목적이었다. 회귀분석으로 이러한 접근에 대한 타당성을 확실히 하였다. 최종 모형에는 런던의 급수체계를 구성하고 있는 다음의 요소들이 포함되게 된다.

- (a) 60개의 배수 구역과 연결 간선 관망
- (b) 25개의 배수조와 조정조
- (c) 40개 이상의 분리관을 가지는 11곳의 ring main의 공급용 축 펌프장

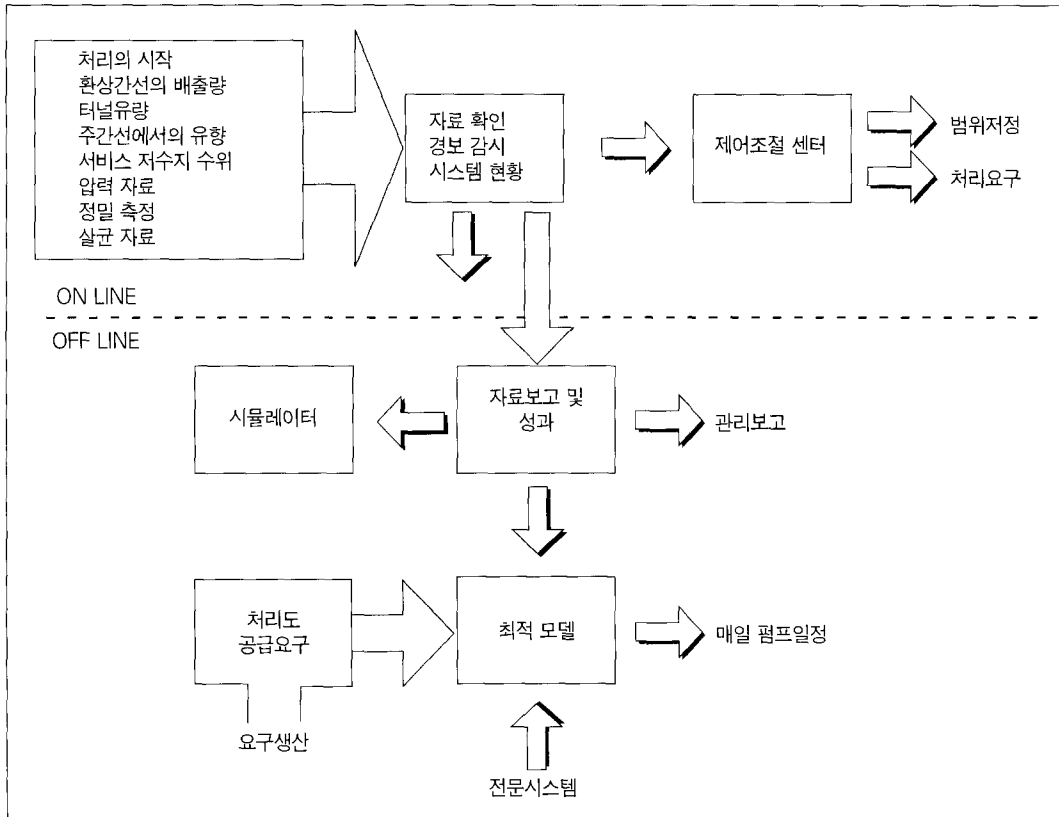


그림 2. 런던 대심도 송수관로시스템의 제어 단계

- (d) 40가지의 양수효율을 가지는 10개의 지면 고
양정 펌프장
- (e) 다섯 곳의 정수장

상세 단계에서 시뮬레이션에 대한 확신을 가지기 위해서 전체 네트워크를 시뮬레이션하여 비교하였다. 1988년초 Leicester Polytechnic에서는 2단계 작업을 진행하였다. 작업의 목적은 우발적 사고나 물 소비 공급의 변화에 대처할 수 있도록 수요량과 시간을 기초로 한 완전한 시뮬레이션을 위한 것이다. 모형은 다양한 공급변화에 대해 '~할 경우 어떻게 할 것인가'를 예측하고 대안을 제시할 수 있었다. 초기 기준은 24시간 동적 시뮬레이션에 대한 분석으로 제한했다. 공급에서의 변화 양상을 조사하고 원수, 정수장, 배수조 용량 한계 등에 기인한 장기 제한 요소들의 효과 등을 분석하기 위해서는 장기간의 해석이 필요하였다. 동적 시뮬레이션이 Thames Water에서 실행되었으며, 그 결과 시스템의 운전상 특징을 얻을 수 있었다. 분석결과 Ring Main은 간선에 안정한 공급을 유지할 수 있고 기존의 간선시스템에 생기는 변화에 제한된 반응만을 보임을 알 수 있었다. 약간의 양수 인자의 조정으로 상당한 균형을 유지할 수 있음을 알 수 있다.

주로 Ring Main으로부터 공급받고 다른 지역과 연결되지 않은 수요지역에서 수요와 공급의 균형을 유지하는 것이 용이함이 밝혀졌다. 기존 간선에서 공급받는 지역은 유지하기 어려우며 장애에 집중적인 연구가 이루어져야 한다. 기존의 양수와 공급 배치를 더욱 효율적으로 사용하기 위한 지역 재분할에 대해서도 추후에 연구되어야 할 것이다.

2.6 제어와 최적화(Dickens, et al., 1988)

Ring Main과 간선의 제어 시스템 개발이 더욱 강조되어 왔다. 제어는 세 단계 시스템으로 이루어지는데, control and coordinating center에서 전체를 관찰하고, 지역 수준에서 물리적 제어를 맡아, 간선으로의 공급이 정상적인 운전 조건하에서 공급수준과 경제성이 동시에 효과적으로 관리되도록 하였다.

Control and coordination center는 수요가 공급과 균형이 맞는지 그리고 공급은 가장 경제적인 방식으로 유지되고 있는지 등을 확인하며 운전을 감시한다. 원수의 취수, 정수과정, 공급 시스템 등에서 발생하는 주요 위급 상황시 모든 제어 조치는 control and coordination center의 허가가 필요하다. 또한 이 센터는 그림-2에서 보여주는 것처럼 압력, 유량, 터널 상태 그리고 일반적 안전성 등에 대한 정보를 통해 터널 시스템을 감시하고 감독할 책임을 갖는다.

Control and coordinating center에 위치한 제어 소프트웨어는 area control center와 정수장 제어 설비로부터 정보를 받아 운전을 감독하고 최적화시킨다. 광범위하고 효율적인 데이터베이스로 강화된 최적화 소프트웨어는 운전 비용면에서 최적화된 운전 방식을 도출해 낸다. 비상시나 기준에서 벗어난 상황에서는 관망 해석 결과를 활용할 지식 베이스 시스템(Knowledge base system)의 구축이 요구되는데, 이러한 지식 베이스 시스템을 구축하는데 시간이 필요하고 새로 통합된 관망의 운전 방식에 대한 상당한 지식이 요구되므로 ring main이 진행되면서 개발하게 될 기초를 마련하기 위해 1986년에 작업이 시작되었다.

기존 시스템에 대한 지식이 수년간에 걸쳐 축적되어 왔고 지역 수준에서는 광범위하다. 그러나 지금까지 시스템 전반을 상세히 관찰할 수 있는 설비는 없었다. 시뮬레이션 모델의 개발 작업은 이러한 기능을 제공할 것이 추고되고 계획과 설계뿐만 아니라 시스템 전반의 두뇌로서 모든 다양한 요소들에 대한 지식을 결집시키는 첫 단계가 된다. 또한 교육용 시뮬레이터가 개발되어 런던 상수공급시스템의 운전 방식을 제어하는 자세한 규칙을 운영진들이 익힐 수 있도록 하였다.

제어의 둘째 단계로서, 특정 지역의 모든 펌프 운전은 area control centers에서 감시되는 데, 각 area control center는 몇 개 배수 지역의 공급을 맡고 있다. 런던은 많은 수의 지역 제어 구역으로 나뉘어 각각은 배수 관망에서의 물리적 측정값을 포함한 지역 정보에 근거하여 제어를 수행한다. area control 설비

들은 비록 control and coordination center의 일일 기준에 정해진 운전 인자 범위에서 운전될 것이 요구되지만 높은 수준의 자동화가 진행되었다. 이들 인자들은 다른 지역의 공급이나 시스템 전반의 경제성에 역효과를 주지 않는 상하한의 범위 내에서 고정된다. 수요량에 부응하여 area 설비는 공급량을 충족시키고 압력을 유지하기 위하여 ring main과 간선으로부터 양수량을 조절하게 된다.

제어조치는 supervising area control center로부터 하달된 운전일정에 따라 ring main의 공급용 측에서 자동으로 수행된다. 비상시나 기준에서 벗어난 운전 조건에서의 운전을 위하여 이 단계에서 예비 운전 일정이 유지된다.

원수와 저장수의 공급과 수처리 과정을 위해 두 개의 제어 센터 설치가 제안되었다: 하나는 Lee Valley에 나머지 하나는 Thames Valley에. 이들 센터 역시 control and coordination center의 통제하에 모든 수처리와 수자원 관련 운전을 제어한다.

2.7 감독과 감시(Dickens, et al., 1988)

터널내 운전은 유량, 압력 그리고 잔류염소 농도 등의 측정을 통해 계속 감시된다. 초음파 유량계가 터널 벽에 설치되고 정기적인 유지관리가 불가능하므로 여유 장치도 설치한다. 터널 상태와 터널 구간의 무결함의 지표로서 관망내의 전략적 지점에서 압력을 측정한다. 각 공급용 측 앞에서 잔류염소농도를 측정하여 두 정수장 제어실 중의 한 곳으로 전달한다.

Thames Water에서 운영하는 터널은 성능 평가 경험에 따라 5년 혹은 10년에 한 번씩 조사를 하게 되는데 이 모든 경우에 터널의 물을 빼고 공급은 우회시키게 된다. 이는 상당한 상수 공급 중단을 초래하고 모든 조사는 고비용에 시간이 많이 소요되는 광범위한 안전 절차의 수행이 요구된다. 터널의 배수시 압력 강하에 기인한 손상정도는 아직 미지 상태이며 어떤 터널 조사에서 손상이 배수와 관련되어 있다는 증거가 입증되어 왔다. 따라서 터널의 육안 검사 빈도는 최소화되어야 한다.

2.8 경제성(Dickens, et al., 1988)

Thames 수도에 의해 시행된 비용분석에 의하면, 첫째 대안인 보수에 의한 현존 설비의 유지와 증강에 소요되는 비용은 3억1천3백만 파운드이고, 둘째 대안인 정수장의 합리화와 TWRM을 위한 비용은 TWRM의 분배체계의 구제화에 9,000만 파운드와 터널내부의 원격측정법과 제어체계의 총비용 1억3천5백만 파운드 및 직접적으로 소요된 비용 9천6백만 파운드를 합하면 총 2억3천1백만 파운드가 된다.

이것은 환상형 수도관로 시스템이 3천2백만 파운드에 해당하는 토지비용과 연간 7천5백만 파운드의 운전비용을 절약할 수 있다는 것이다. 또한, 35년간 5%정도 줄어들 현재의 준비비용은 다른 방법을 사용할 때보다 1억3천6백만 파운드를 절약하거나, 혹은 2.5%의 단계적인 에너지비용 증가보다 1억6천7백만 파운드를 절약하는 것이다.

3. 대심도 송수관로시스템 도입시의 기대효과 (한국수자원공사, 1997)

3.1 경로 및 설치장소의 자유도가 크다

• 최단경로 선택

대심도 지하를 이용할 경우에는 기존 매설물이나 구분지상권 등에 구애받지 않고 자유롭게 설치장소를 선택할 수 있다. 따라서 수도관과 같은 시설의 건설에 있어서 목적지까지 최단 경로를 선택할 수 있으므로 최적 시설계획하에서 경제적으로 시설을 정비할 수 있다.

• 대규모 연결관거의 포설 가능

대심도 지하를 이용함으로써 원하는 위치에 대구경 관거를 설치할 수 있으므로 수원간 또는 정수장간 대규모 연락관거의 포설과 저류기능을 갖춘 대구경 관거의 포설이 가능하다.

• 최적입지 선정과 규모확장 가능

기존 배수지는 지상에 위치해 있으므로 확장증설시

공간적 제약이 따른다. 그러나 대심도 지하를 이용하면 배수지 등을 최적입지에 포설할 수 있고 또한 기존 시설의 지하공간을 이용함으로써 기존 위치에서의 시설규모 확장도 가능하다. 따라서 여유 있는 수도시설의 건설과 더불어 수요자에 대한 안정급수의 실현이 가능해진다.

3.2 자연유하식에 따른 에너지 절감 효과

종래의 방법은 취수장에서 가압하여 수송하는 형태였으나 대심도 수도관로는 대규모 터널을 이용한 자연유하 방식을 원칙으로 하므로 가압비용이 절감되며 급수지역에서 필요한 수량만을 양수하여 사용하므로 에너지 절감 효과가 크다. 대심도 수도관은 지형의 회복에 따른 영향을 크게 받지 않으므로 관로 도중에 가압대책이 불필요하여 에너지를 절감할 수 있다. 또한 대구경화에 따른 관로내 마찰수두 손실이 감소하므로 배수지 등에서 양수에 필요한 펌프양정이 작아지고 낙차에너지를 이용한 소규모발전이 가능한 에너지상의 이점이 있다.

3.3 생활기반시설로서의 기능 향상

국민생활의 필수시설로서 안정된 물 공급 요건을 구비하기 위해서는 지진 및 가뭄 등의 재해에 충분히 대비할 필요가 있다. 대심도 지하의 이용은 비교적 양호한 지반위에 시설을 구축함으로써 지진시의 진동 및 진폭이 작아지므로 기존의 천심도 수도시설에 비해 내진성이 향상된다. 또한 지상의 용지확보가 곤란한 배수지 등의 저류시설을 대심도 지하에 설치하여 대용량의 저류능력을 확보함으로써 가뭄이나 시설사고시의 제한급수 및 단수 등에도 효과적으로 대처할 수 있다. 이에 따라 비상시에도 안정적인 물 공급을 실현하여 국민기반시설로서의 기능 유지 뿐만 아니라 부수적으로 사회적 편익증대 효과도 거둘 수 있다.

3.4 공기(工期)의 단축과 교통지체 감소

지하권에 대한 법적 장치가 갖춰지는 경우 대심도 지하의 공적이용에 관한 제도를 활용함으로써 용지보상 및 그 교섭에 따른 지체가 없어 필요한 시설정비를

계획적이고 원활하게 실시할 수 있다. 또한 발진 입갱을 제외한 대부분의 터널 공사구역에서 지표면에 대한 굴착이 없으므로 공사에 수반되는 교통지체 요인이 적고 특히 천심도 지하에 매설된 구조물에 대하여 별도의 조치 등이 불필요하다.

3.5 유지관리의 용이성

대심도 수도 시스템은 대용량의 관로를 주간선으로 하여 다수의 정수장과 배수지, 펌프시설 등의 연결을 비교적 단순화할 수 있다. 따라서 중앙제어집중 형태의 종합적인 물 운용 시스템을 구축함으로써 용수공급과 유지관리의 효율성이 증대된다. 이외에도 누수에 대한 감시 기술의 개발이 필요하나 기존 천심도의 관로에 비하여 누수제어가 단순화되고 용이할 것으로 생각되므로 이로 인한 수자원 보호 효과도 기대된다.

3.6 시설 주변 환경개선 효과

지반내에서는 음파의 투과손실이 대기보다 크므로 방음성 및 차음성이 우수하다. 따라서 펌프나 발전시설과 같이 소음 발생이 불가피한 수도시설을 지하공간으로 이설함으로써 소음방지에 따른 환경개선 효과를 얻을 수 있다. 또한 기존 부지의 상부는 쉼터등 일반인이 쉽게 접근할 수 있고 도시 기능에 부합하도록 활용하는 것도 가능하다.

3.7 도시중심부 수도시설 용지의 재개발 가능

대도시의 도시 중심부에 위치한 기존 정수장, 배수지, 펌프장 등을 대심도 지하로 이설할 경우 기존 시설이 이용하던 천심도 지하 및 지상의 부지를 합리적으로 재이용할 수 있다. 지역에 따라서는 재개발에 따른 경제적 이익도 얻을 수 있으므로 대심도 시설 도입에 따른 비용 저감 요인이 될 수 있다.

4. 대심도 송수관로시스템의 도입시 요구되는 연구분야

대심도 송수관로시스템을 성공적으로 국내에 도입하기 위하여 기본계획단계에서부터 검토되어야 할 과

제는 다음과 같이 계획, 설계, 시공, 운영 등의 분야로 나누어 검토되어야 한다. 또한, 사업시행시 나타날 수 있는 시행착오를 방지하도록 선진외국의 경험과 기술을 기본계획단계부터 도입하여야 한다.

4.1 기본계획구축(한국수자원공사, 1997)

대심도 수도관로의 기본체계를 세우는 작업으로서 본 과업의 연장선 측면에서 다음과 같은 사항을 구축하여야 한다.

• 대심도 관로의 기본경로 확정

본 과업에서 선정된 경로를 포함하여 대상지역의 지질 및 기상조건 및 참여 지자체의 여부에 따라 발생할 수 있는 문제점과 대책을 반영한 경로를 확정하여야 할 것이다.

• 대심도 관로의 목표기능의 설정

대심도 수도관로는 물의 공급기능에 따라 원수 또는 정수공급을 할 수 있으며, 그 기능에 따라 관의 운영 및 사업전체의 내용이 달라지므로 신중한 결정이 필요할 것이다. 또한, 물의 공급방법도 현재의 팔당댐에서 원수 또는 정수를 공급하는 단점주입시스템과 여러 지역에서 원수 또는 정수를 공급하는 다점주입 방법 등도 검토되어야 할 것이다.

• 수도시설의 관리주체에 따른 검토

대심도 수도관로의 관리주체를 건설비 부담주체에 따라 일원관리체제와 이원관리주체에 따라 나누어 검토할 수 있으며, 이원체제에 근거한 건설 및 운영방안의 합리화에 따른 각 지자체간의 역할분담에 대해 검토한다.

• 설계용량

선정된 대심도 수도관로의 최종설계용량과 수도관로의 관경결정을 위한 송수 및 저류기능의 포함여부 및 비상시 개념의 정립 및 용량결정을 위한 설계용량 검토를 한다.

• 지질 및 토질조사

조사지역에 대한 지질 및 토질조사를 실시하여 대심도 수도관로에 적합한 시공방법을 선정하는 방안을 검토한다.

4.2 대심도 수도관로 설비의 최적화

연구(한국수자원공사, 1997, 박 희경 등., 1997)

대심도 터널과 기존의 상수공급시스템을 연계한 광역급수체계의 구축이 경제적이면서도 신뢰성 있는 시스템으로 건설되고 운영되기 위해서는 대심도 터널과 기존 시스템간의 상호작용을 모델링하여 다음과 같은 선택변수들에 대한 최적사양을 선택할 필요가 있다.

- 터널 및 관로의 직경, 펌프의 용량, 배수지의 최적 크기 결정
- 대심도 관로의 대안 경로의 평가
- 기존 상수공급시스템의 주요 관로의 재배치 및 배수구역의 재설정
- 정상운전 및 사고발생시의 선호되는 운전방식

위의 선택변수들이 최적으로 선정되기 위해서는 기존 상수공급시스템의 급수구역별 수리해석을 먼저 하고 각 급수구역별로 요구되는 수량과 수압을 대심도 터널을 통해 최적으로 공급할 수 있도록 대심도 터널 경로와 공급축의 위치 등을 선정하여야 한다. 이를 위해 각 배수구역과 대심도 터널이 연계되어 광역급수체계를 통합적으로 시뮬레이션할 수 있는 보완된 모델의 개발이 요구된다.

4.3 관망운전제어전략 구축(한국수자원공사, 1997, 박 희경 등., 1997)

대심도 관로를 도입하여 얻을 수 있는 장점을 극대화하기 위해서는 시스템 전반에 걸쳐 최적화된 운전 제어전략이 필요하다. 이것은 중앙제어와 지역제어시스템간의 상호협조체계 그리고 운영진에게 시스템 전반의 운전상태를 감시할 수 있는 영상 등의 제시를 요구한다. 이와 같은 시스템 전반의 탄력성과 신뢰성을

확보하기 위해서는 광역급수체계를 수요지역별 수요량 변화에 따라 동적으로 대응하고 전체 용수의 수요와 공급의 균형을 감시하고 조정해 나갈 수 있는 운전 제어전략 구축을 위한 연구가 요구된다. 즉 광역운전 제어시스템은 각 지역별 운전제어시스템이 사용하는 최적화기술과 펌프 스케줄링 기술에 필요한 운전변수들을 결정하고 그리고 지역적인 운전 자료들을 정리 요약하는 통합된 기능을 갖추어야 한다.

5. 맺음말

IMF의 제약을 받아야 하는 국가 경제의 어려운 시기를 당하여 여러 가지로 힘든 상황에서 수도시설의 효율을 증대시키고 지속적인 개발을 위한 용수공급의 안정화를 위해 대심도 환상송수관로시스템을 먼저 도입하여 성공적으로 운영하고 있는 영국 런던의 경험

을 살펴 보았다.

런던의 대심도 환상송수시스템의 건설에서 논의된 바와 같이 대심도 송수관로시스템의 기대효과가 최대한 발휘되기 위해서는 사업 시행시 나타날 수 있는 시행착오를 방지하도록 선진 외국의 선행 경험과 기술을 철저히 파악하여 기본계획의 수립단계에서부터 면밀히 검토되어야 할 것이다. 특히 대심도 시스템을 도입하게 되면 기존의 상수공급시스템에 획기적인 변화를 초래하여, 효율의 증가와 더불어 상수공급의 전반적 안정성을 향상시키는 신뢰성 있는 시스템을 제공하게 된다. 이러한 안정성은 공급관망의 물리적 확장을 통해서 뿐만 아니라 제안된 전체 관망의 철저한 분석에 기초한 설계와 시공 및 제어시스템 체계의 구축을 통해서 만이 가능하다. 이를 위해 보다 심도깊은 연구가 관련된 제 분야에서 체계적으로 진행되어야 할 것이다. ●

〈 참고 문헌 〉

1. 박희경, 현인환, 박중현, 주대성. (1997). "대심도 광역급수체계의 최적 설계 및 운전방안 연구." 대한상수도학회 학술발표회 및 세미나.
2. 한국수자원공사, 수도권 도심지역 심층지하공간 활용에 의한 광역급수체계 구축방안 연구, 1997.
3. 한국수자원공사, 수도권 광역상수도 현황자료, 1996. 7
4. 환경부, 상수도 통계, 1996
5. Bensted, I.H., (1994). "Historical perspective and corporate overview", Proceedings of the Institute of Civil Engineers, vol. 102, Special Issue 2.
6. Dickens, W.J. and Bensted, I.H., (1988). "London Water Ring Main," Proceedings of the Institute of Civil Engineers, June.