

## Ma On Shan 정수장의 혁신적인 설계

- Innovative Design on Ma On Shan Water Treatment Works -

Paul Y Chung\*  
Paul W Prendiville\*  
Walter E Pitts\*  
Travis Chien\*

### 초 록

Ma On Shan 정수장은 Sai Kung의 Kwun Hang 마을 근처에 위치해 있고, 1996년 11월에 가동예정이다. 이 새로운 시설은 생산용량이 227,000 m<sup>3</sup>/d이고 Ma On Shan 신도시와 인근 지역에 정수를 공급하며 이것은 현재있는 Shatin정수장의 부하를 경감시킬 수 있는 양이다. 홍콩에 건설된 가장 현대적인 정수장인데, 혁신적인 것으로 평가되는 여러가지 새로운 아이디어를 설계와 건설에 도입하였다. 새로운 정수장은 약품을 절약하고 슬러지량을 줄이기 위해 낮은 탁도에서 중간정도의 탁도까지 처리하는 대부분의 시간은 직접여과를 할 수 있도록 운전상의 유연성을 가질 수 있게 하였다.

높은 탁도를 보이는 경우에 운전자는 재래식 처리를 선택할 수 있다. 공간을 줄이기 위해 공동벽 시설을 사용하여 전체 플랜트를 콤팩트하게 설계하였다. 여러 가지 혁신적인 설계들이 사용되었는데, 전오존처리, 3층 침전지, GAC 미디어를 위한 심층여과지(deep filter), 손실수두에 대한 연속 모니터와 상시 가동 스크러버 시스템을 조합시켜 설계되었다. 정수장은 일괄 도급 계약과 기술자들의 설계에 기초하여 전체 계약이 성립되었다.

### 서 론

상수도국에 의해 준비된 Ma On Shan 정수장과 송수에 대한 No.3/89의 계획보고서에서 Ma On Shan 지역에 새로운 정수장 건설이 권고되었다. 이 새로운 정수장은 홍콩의 Kowloon, Shatin, Ma On Shan, Tesung Kwan O, Sai Kung과 섬들에 227,000m<sup>3</sup>/d를 공급하여 1994년 이후 부족한 정수용량을 채우는 것을 가능하게 할 것이다. Kwun Hang에 있는 계획된 위치에서는 Ma On Shan 신도시와 인근 지역 기존 Shatin 정수장의 부하경감을 위해 Shatin지역에 공급하며, Tai Po내의 Pak Shek Kok의 장래 개발에 공헌할 것이다.

최종처리 용량 227,000m<sup>3</sup>/d의 새로운 정수장은 재래식 처리 프로세스 장치의 설치가 필요하다.

정수장에는 처리수의 펌프실과 Alum슬러지를 30% 케익으로 탈수시키는 슬러지 처리 시설을 포함하고 있다. 거기에다 40,000m<sup>3</sup>용량의 1차 배수지가 건설되고 약 9km의 송수관을 설치하여 Ma On Shan과 Shatin지역에 정수를 공급한다.

프로젝트를 위한 조사는 1995년에 정수장을 운전할 수 있도록 1991년 5월 시작하도록 계획되었다. 그러나 플랜트 지역내에 고분들이 있었기 때문에, 땅주인과의 협상으로 인해 1년 이상 지체되었다. 이 문제는 고분과 매장지역의 훼손을 막기위해 최초 보고서안에 227,000m<sup>3</sup>/d의 플랜트를 콤팩트하게 배치함으로 해결되었다.

1992년 9월의 Sai Kung 북부 지역 위원회와

\* Gamp Dresser Mckee International Inc.  
(Hong Kong)

도시계획위원회의 승인으로 기본보고서의 남은 부분이 완성되고 설계와 건설단계로 접어들게 인가되었다.

## 원수의 수질과 실험실 규모 장치 실험

### ① 원수 수원

Ma On Shan 정수장은 평소에는 원수를 Plover Core저수지로부터 Harbour Island 펌프실을 거쳐서 직접 받을 것이다. 양수장은 Sai O에 부설된 1400mm 원수 유입관을 통하여 Harbor Island 양수장에서부터 Pak Kok 처리장과 High Island 터널 계통으로 연결되는 도수관으로 원수를 보낼 것이다. 부가하여 추가의 원수가 Harbour Island Reservoir로부터 High Island 터널 계통에 설치된 상호 연결관을 통하여 공급될 것이다. Plover Core와 High Island 저수지 수원의 과거 수질이 재검토 되어졌다.

둘 다 보호되고 있는 유역으로부터 저장된 물이다. 수질은 비교적 양호하다. 평균 색도와 탁도는 각각 5-6HU과 2.6FTU이고, 경우에 따라 탁도가 30FTU 정도까지 될 때도 있다.

### ② 처리된 물의 목표

Ma On Shan 정수장의 공정 선택과 최종 설계는 처리목표를 우선 채택 한 후 시작해야 한다.

WSD, WHO의 가이드라인 수치와 최근의 USEPA에 의한 음용수 규제치를 고려하여 Ma On Shan에서 최고의 양질의 음용수를 생산하도록 처리수에 대한 다음의 목표를 설정했다.

pH 8.2 - 8.8  
 색도 < 5 HU  
 탁도 < 0.3 FTU  
 철 < 0.1 mg/l  
 마그네슘 < 0.05 mg/l

잔존 알루미늄 < 0.10 mg/l  
 맛과 냄새 : 이의 없어야 함  
 100ml당의 총 대장균 수 : 0  
 E.coli : 0  
 총 트리할로메탄 : 50 µg/l  
 자유 잔류 염소 : 0.5 - 1.5 mg/l  
 불소 : ±10%의 명목수준 대개 0.5 mg/l

채택되어진 목표와 WSD와 WHO에 의해 설정되어진 처리 목적사이의 가장 큰 차이점은 탁도이다. 탁도 0.3 FTU라는 목표는 Ma On Shan 정수장에서 탁도제거가 여러가지 이유로 가장 중요하기 때문에 선정되었다. 낮은 탁도 목표는 염소소독으로 THM을 형성하는 전구물질인 유기물질 제거뿐만 아니라 적절한 소독에 대한 보증을 하게 된다. 부가하여 처리수에 대한 더 엄격한 탁도 목표는 공정사고시 뿐만 아니라 높은 원수 탁도 기간 동안에 운전에 대한 유연성을 제공할 것이다. 마지막으로 낮은 여과된 원수의 탁도는 잔류 염소요구량을 줄이고, 염소에 드는 비용과 THM 생성 가능성을 줄일 수 있다.

### ③ 실험실 규모 장치 실험

실험실 규모의 처리에 대한 연구는 1992년 4월 Pak Kong 정수장에 채취한 저수지의 원수를 사용하여 시험했다. 전체적으로 이 실험의 목적은 최적 응집제 주입량을 구하고 여과된 물의 탁도와 색도를 최소화하는데 필요한 혼합과 침강 조건을 구하는 것을 목적으로 한다. 벤치 규모 실험은 직접여과와 전체 재래식 처리 프로세스의 양자를 모델로 하였다. 전체 재래식 처리는 급속혼합, 플럭 형성, 침전과 여과로 나눌 수 있다. 직접여과는 침전과정이 없게 된다. 현재 홍콩에서 시행되고 있는 처리 방법과 Plover Cove와 High Island 원수의 수질을 고려하여 실험대상 약품으로는 황산알루미늄(alum), 양이온 Polymer, PAC가 선정되었다.

위의 약품들은 많이 사용되는 것들이다. Alum, 금속염은 현재 모든 홍콩의 정수장에서 주 응집제로 사용되며, 일반적으로 “rock” Alum이라고 한다.

Alum의 양은 pH, 온도, 응집 강도, 이온 종의 존재 상태 그리고 혼합조건 등의 여러 인자들에 영향을 받는다.

PAC는 잔류 알루미늄 농도와 슬러지 생산의 저감을 기초로하여 일차 응집제로 시험되었다. Tai Lan Chung을 포함한, 실험실 규모 실험장치 경험에도, 실제적으로 Alum에 비해 낮은 PAC의 투입량이 사용되었다. PAC는 Alum처럼 원수의 pH를 낮추지 않고, pH조정제가 거의 필요가 없거나 조금 필요한 수준이다. 줄어든 화학 약품 요구량은 곧 전체 생산되는 슬러지 량의 감소를 의미한다. 그리고 잔류알루미늄의 농도가 낮아지는 것으로 알려졌다. PAC의 비용면에서의 효과성 여부는 효과적인 투입량, 초기 pH의 조정 필요성과 슬러지 발생량의 감소에 따라 결정된다. 아래에 실험실 규모 장치 실험으로부터 얻어낸 결과들을 나타내었다.

- ㉑ Alum은 직접 여과에서 10 - 11 mg/l의 투여량에서 초기 응집제로서 유효하고, 재래식 침전지에서는 15 mg/l가 유효하다.
- ㉒ 초기 pH조정은 직접여과나 재래식 처리에 의한 운전에서도 Alum 투입시 불필요하다.
- ㉓ 양이온 폴리머는 원수에 고형물량이 적은 관계로 최초 응집제로서 효과가 좋지 않았다. 그러나 Alum과 양이온 폴리머(Magnifloc 573C)시험 결과를 원수에 함께 사용한 것은 고려해 볼만 하다.
- ㉔ Alum에 비하여 PAC량은 적게 투입할 때에 직접여과와 재래식 처리법 양자에서의 처리수질 목표를 만족하였다.
- ㉕ 최적 PAC 투입량은 직접여과에서는 0.5 mg/l 이고, 재래식 침전지에서는 2.0 mg/l 이었다.

㉖ PAC에 의한 응집은 Alum 응집에 비교해 플럭의 침강특성에 좋은 영향을 미쳤다.(30분 정치후 상징수 탁도 0.50FTU, 45분 정치후 상징수 탁도 0.82FTU)

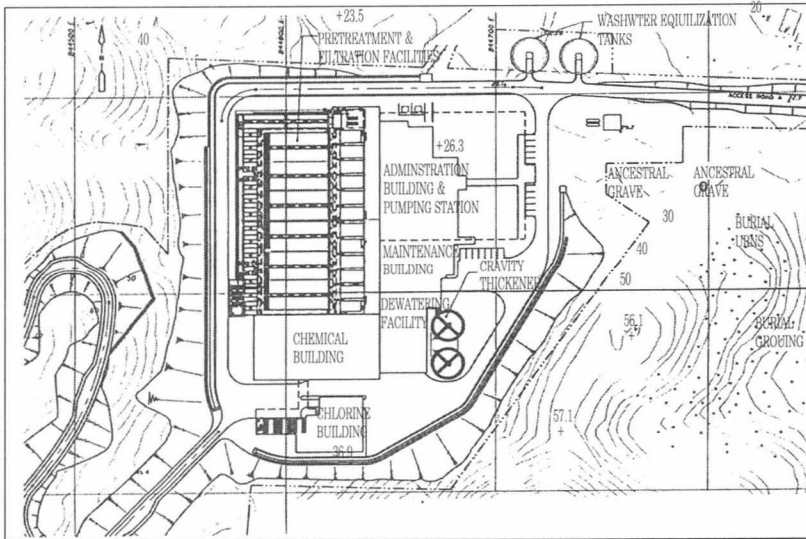
요약하면 벤치 규모의 연구는 Alum또는 PAC를 사용하여, 그리고 직접여과나 또는 재래식 처리 어느 방법으로도 PC저수지 원수를 성공적으로 처리할 수 있다는 가능성을 보였다. 그것은 Alum응집에 양이온 폴리머를 함께 주입할 때에 부가적인 이득이 있음도 아울러 보였다.

### 설계원리와 시설 배치

실험실 규모 장치의 운전 자료를 기초로하여 저탁도에서뿐 아니라 고탁도의 원수가 유입되는 기간에도 공정운영에 유연성을 가질수 있는 형태의 설계원리를 구성하였다. 직접 여과 공정은 25FTU 또는 약간 높은 정도의 탁도의 원수에서 양질의 처리수를 공급할 수 있고 여과 운영을 (24시간 짧을 경우) 보장하며, 최소 응집제 사용을 유도하고, 조작과 처분할 잔류 고형물량을 감소시킬 것이다. 저탁도의 원수에 대한 Ma On Shan 정수장의 매우 중요한 설계에의 고려로는

- ㉑ 원수에 응집제를 신속하고 강한 혼합,
- ㉒ 핀 플럭의 형성이 천천히 응집되는 기간,
- ㉓ 안트라사이트와 모래로 이루어진 심층 여과.

위의 것들을 고려하면 탁월한 처리수질과 허용할 만한 공정조건을 보장할 수 있게 한다. 고탁도의 기간에 플럭 침강은 침전조에서 이루어진다. 따라서 여과에서의 부하를 낮춘다. 틀림없이 침전지를 가동하려면 시간이 좀 걸린다. 따라서 직접여과 방식의 정상적 운전시에도 우회수로는 설치하더라도 응집·응결된 물을 침전지를 통과하여 흐르도록



◁ Fig1. Site Plan

한다. 이렇게 함으로써 원수의 탁도가 급증할 때 단지 응집제의 주입량을 증가함으로써 좀 더 효율적인 방법으로 침전단계가 가동할 수 있게 할 수 있을 것이다. 우리는 이러한 유연성있는 공정설계가 타당한 공정 조건뿐 아니라 양질의 처리수를 만들 수 있는 조건을 일년내내 유지시킬수 있다는 확신을 가지고 있다.

정수장의 위치 계획은 그림 1에 나타내었는데, 대부분 공동벽을 사용함으로써 매우 컴팩트하게 배치된 것을 보여준다. 이러한 설계는 고분과 묘지 때문에 원래의 약 40%의 부지를 포기하기 위하여 불가피 하였다. 그림 2의 공정 흐름도에서는 Plover Cove 저수지로부터의 원수가 균등하게 4개의 전처리와 여과 트레이에 분배됨을 보여준다. 각각의 트레이는 평균 용량이 56,700m<sup>3</sup>/d로 유입되도록 설계되었고 급속 교반, 플러 형성, 침전, 여과 등

을 할 수 있다. 한 트레이는 3개의 평행한 침전지와 여과지들로 이루어지고 이를 위해 급속 혼화지와 플러 형성지가 따로 설치된다. 여과수는 염소접촉조로 보내지고 정수지에서 모아진 후 펌프로 배수된다. 4개의 전처리와 여과 트레이들은 수리학적으로 공통관으로 연결되고, 고분지역의 보호를 할 수 있고, 그 외 설계에서의 특징은 운전이 쉽고 경제적인 건설, 플랜트내의 유입시의 수리학적 손실

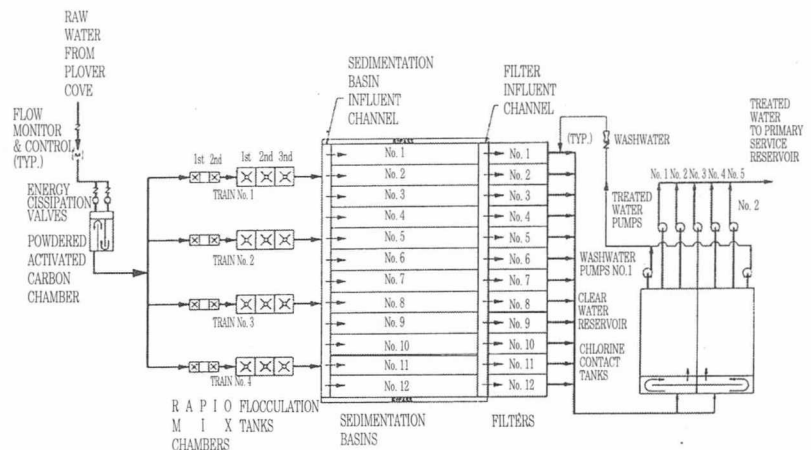


Fig2. PROCESS flow Pattern

의 최소화, 화학약품의 적용부분까지의 파이프 길이를 짧게하여 만들어졌다는 것이다.

### 혁신적인 설계특징

3층 침전지와 여러 가지 프로세스 장치들에 공동벽의 건설을 선택한 것은 227,000 m<sup>3</sup>/d 처리장에서 전체적으로 갖추어야 할 슬러지 탈수장치와 조작성의 최소의 요구를 가능하게 한다. 공간을 더 절약하기 위해 행정지역, 통제실과 실험실을 염소 접촉탱크와 정수수위에 설치하였다. 통제실, 펌프실, 여과지와 약품공급과 저장지역에 쉽게 운전자가 접근할 수 있게 가깝게 설계했다. 실제 운전자는 실외로 나가지 않고 쉽게 전체 프로세스 시설에 접근할 수 있다.

정수장은 다양한 원수 수질 변동에도 직접 여과 또는 재래식 처리 프로세스 운전의 유연성을 살려 운전할 수 있다. 이러한 준비는 직접여과를 대부분의 시간 운전함으로 약품을 줄이고, 슬러지량을 줄이는 결과로 운전되도록 할 수 있다.

한 공정에서 다른 공정으로 물이 흐르도록 하는데 자유흐름을 이용하지는 않았다. 전체 수리학적 종단면도는 연속적이다. 설계는 원수의 유입부로부터 여과지까지의 수리학적 수두를 경감시키도록 고려되었다. 우리는 여과에 필요한 운전 수두를 제외한 전체 플랜트에서의 평균 수두 손실을 0.35m보다 작게 예측하고 있다. 전처리에서부터 여과시설까지의 단면을 그림 3에 나타내었다.

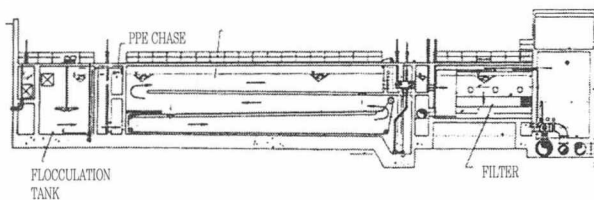


Fig3. TYPICAL section through pretreatment & filtration facilities

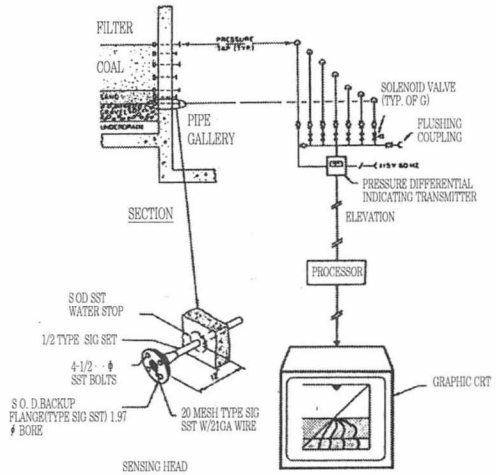


Fig4. Filter pressure and monitoring installation

장래 유기물 부하에 대한 부수적인 대비책으로 오존처리가 요구될 것으로 예상하여 오존처리를 위한 대비를 하였다. 급속 혼화지 앞에 있는 분말활성탄 접촉조는 쉽게 오존 접촉조로 변형시킬 수 있다. 오존 주입장치는 접촉조 아래에 설치될 수 있고, 액체 산소를 사용하는 오존 발생기는 구조물의 상부에 건설될 수 있다.

여과지의 1200mm 깊이의 안트라사이트는 장래에 필요하다면 GAC로 바뀔 수 있다. GAC여과는 11.9 m/hr의 부하속도로 약 6분의 공상접촉시간(EBCT)을 갖는다. 이것은 맛, 냄새와 경량 유기물 부하를 제거하는데 적합할 것이다. GAC여과는 원수에서의 가능한 오염에 의한 유기물부하 유입에 대한 보호도 할 수 있다.

또한, 여재를 통과하여 발생되는 수두 손실은 그림 4에 나타난 여과지층내에 설치된 압력 모니터로 연속적으로 감시된다. 운전자는 CRT에서의 여과지 수두손실 곡선 모양으로 플록이 너무 거칠거나, 너무 약하거나 또는 이상적인지를 결정할 수 있는 도구로 이용할 수 있

을 것이다. 이러한 저렴한 장치의 설치로 운전자에게 여과층의 거동을 살피고 약품 주입의 효율을 최대화하는 도구가 마련될 것이다. 최대효율을 나타내는 것을 감시하는데 유용한 기구로 사용된다.

염소 저장실과 증발기에서 누출되는 염소처리에는 최신 설계와 시설이 채택된다. 홍콩에서 최초로, 이미 실험으로 증명된 고효율의 염소 세정기가 Ma On Shan 정수장에 설치될 것이다. 이 세정장치는 염소누출시 99.9997%의 효율로 3ppm이하로 처리하는 것이 보증된다. 증명된 높은 효율 때문에 실내를 음압으로 유지할 수 있는 상시 기술 세정장치가 사용될 수 있을 것이다. 그러한 설계는 정수장 주변의 주민 뿐 아니라 정수장 운전자를 위한 안전조치를 높이게 될 것이다.

### 혁신적인 계약 전략

공사 시방서에 근거한 다중의 재산정 계약을 포함했던 정수장 시설 공사에 사용한 과거의 계약방법과는 달리, Ma On Shan 정수장은 기술자의 상

세 설계에 근거한 단일 일괄 계약으로 건설되고 있다. 정수장과 1차 배수지에 대한 토목과 전기·기계 공사를 포함한 일괄 계약은 여러 부문의 공사팀들을 잘 조정하는 일차적인 책임이 주계약자에게 허락된다. 이것이 홍콩에서는 새로 시도되는 것이지만 미국이나 다른 나라에서는 정수장 건설에 널리 사용되고 있는 실정이다. 당연히 기술자들은 상세한 설계와 건설중의 감독을 위해 더 많은 노력을 하도록 요구된다. 그러나 단일 책임방식으로의 접근은 계약에 기인한 잠재적인 건설 배상청구와 공사의 지연을 경감할 것이다.

### 결론

Ma On Shan 정수장 프로젝트는 여러 혁신적인 구상과 설계와 홍콩내에 정수장을 건설하는데 비재래적인 접근방식을 도입했다. 최종이익은 아직 평가되지는 않았지만 30개월 동안 건설 프로젝트가 일정에 만족하게 진행되고 있다. ●