

폐쇄공간 송수관로내 민물담치의 서식밀도 조절방법

신재기* · 정선아 · 노준우 · 김영성 · 황순진¹

한국수자원공사 K-water연구원, ¹건국대학교 보건환경과학과

Control Method of Habitat Density of *Limnoperna fortunei* in the Enclosed Facility of Water Supply Pipeline. Shin, Jae-Ki*, Sun-A Chong, Joonwoo Noh, Youngsung Kim and Soon-Jin Hwang¹ (K-water Research Institute, Korea Water Resources Corporation, Daejeon 305-730, Korea; ¹Department of Environmental Health Science, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea)

Abstract This study was conducted to the reduction and elimination of *Limnoperna fortunei* that problem in the facilities and water supply pipeline is done to review proposals for the controls. In order to effectively remove the larva and the adult of that, chlorination and being used to an existing method is to be commended. The water temperature of *Limnoperna fortunei* spawning season was ranged 16 to 17°C during May to early November. A chlorination of this period is appropriate in order to control a larva. However, existing in the attached young and old shell at the same time consistently been deemed to apply, because it must be taken into account. The range of concentration of chlorination to control the biomass for *Limnoperna fortunei* was from 0.5 to 1.0 ppm. Proliferation attached to the mitigation or appropriate technology to solve the domestic situation the priorities of the choice of a more urgent. Also, the monitoring of water temperature and larva will constantly to be done. And development of larva monitoring method as well as after chlorine treatment is effective analysis needed. Finally, we are expecting to good use in validating the results presented in this study.

Key words: *Limnoperna fortunei*, biofouling, temperature, chlorination, pipeline

민물담치 (*Limnoperna fortunei*)는 홍합과 (Mytilidae)에 속하는 담수산 이매패류 (bivalve)로서 중국과 남동아시아지역 강과 소하천의 수중에 부착 서식하는 홍합과 패류생물이다 (Miller and McClure, 1931). 본 종은 산업화와 도시화가 가속화됨에 따라 1965년에 홍콩에서, 1990년에 일본과 대만에서 각각 물 관련 중대규모 설비에서 관로의 폐쇄현상으로 인해 사회적 문제가 되었다 (Iwasaki and Uriu, 1998; Magara *et al.*, 2001). 이후 1991년에 남미 Plata Basin을 통해 파라과이, 우루과이, 브라

질 및 미국 등으로 전파되어 그 심각성이 알려졌다 (Azis *et al.*, 2003). 민물담치는 지역적으로 고유한 대형무척추 동물상과 풍부성을 변화시키게 하였고, 취수구와 냉각기 설비를 훼손시켜 커다란 경제적 피해를 야기하였다.

한국의 한강, 낙동강, 금강 및 섬진강과 중국의 동강에서 널리 서식하는 군서 부착형 패류이며, 잠재 생식력과 성장률이 높다. 수류가 완만한 대하천의 중하류에서 흔히 볼 수 있고, 주로 상수원의 취수구~정수장 착수정 구간에서 생물학적 오염원인의 패류생물로 알려져 있는 종이다 (Shin *et al.*, 2013). 우리나라에서도 관로의 생물 부착으로 인해 제한적으로 문제가 되어왔다. 폐쇄수역 내 민물담치 서식이 확인되어 관로 내부의 부식 촉진과 착수정에서의 축적오염 영향을 저감하기 위한 근원적인

Manuscript received 11 August 2014, revised 29 September 2014, revision accepted 1 October 2014
* Corresponding author: Tel: +82-42-870-7450, Fax: +82-42-870-7499, E-mail: shinjaeki@gmail.com

제어방안이 필요하였다(Kim *et al.*, 2011; Shin *et al.*, 2013). 민물담치의 제거를 현장의 실증 규모로 직접 실험하기가 쉽지 않기 때문에 본 연구에서는 우선 문헌적으로 검토하였고, 관로내에 적용 가능한 최적 방안을 도출하고자 하였다.

민물담치에 관한 국내의 문헌은 우편(저자 직송) 또는 전자저널을 통해 수집하였다. 수집된 문헌은 분포생태의 다양한 특성을 근간으로 물 관련 각종 시설에 생물부착 영향의 해결에 관한 것을 중점 검토하였다. 그리고 물리적, 화학적 및 생물학적 방안으로 분류 요약하여 비교 정리하였다(Fig. 1).

민물담치의 서식환경 특성은 문헌에 의해 Table 1과 같이 요약되었다. 그리고 생물량 조절을 위한 제거방안은 그동안 다양한 기술들이 소개되었다(Azis *et al.*, 2003). Fig. 1에서 언급한 제거방법별로 구분하여 비교하였을 때 화학적 조절과 부착방해물질 등에 관한 선행연구가 각각 25편, 22편으로써 45.2%를 차지하였다(Azis *et al.*, 2003). 이러한 기술들을 현장의 실증 규모에 적용할 때 기술의 효과성, 환경성 및 경제성 등이 우선 고려되어야 하겠다. 그리고 이 중에서 주요한 조절방법에 대한 내용

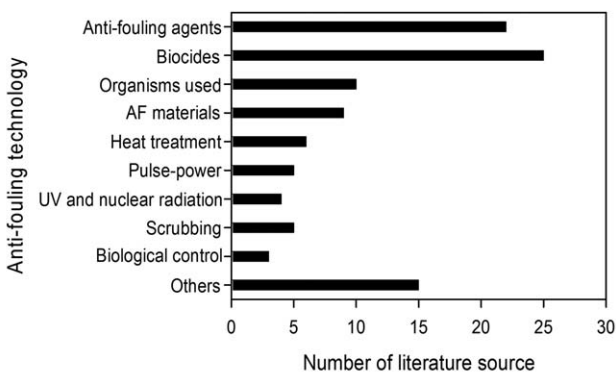


Fig. 1. A result of classified literature data for anti-fouling technology of the major aquatic organism. AF and UV are the acronym of antifouling and ultraviolet, respectively.

은 다음과 같다.

물리적 제거법으로는 기계적으로 제거하는 scrubbing 기법이 가장 고전적인 방법이다. 이것은 민물담치뿐만 아니라 기질에 착생한 이매패류를 제거하는 가장 확실한 방법으로 추천되나, 많은 시간과 경비가 소요되는 단점이 있다. 제거효과는 일시적인 것으로 3~5년 이상 경과하면 원상태로 되며, 광역적으로 적용하기에는 부적합하다(Azis *et al.*, 2003). 또한 민물담치의 건조내성 특성(5~7일 정도)을 이용한 건조법이 있는데, 이것은 장기간 용수공급을 중단하여야 하고, 송수관에 통풍시설을 갖추어야 하는 어려움이 있어 소규모에는 효과적일 수 있으나 대규모에는 실제적으로 경제성이 떨어진다(Montalto and Drago, 2003). 이 외에도 여과법, 열처리법 등이 있으며, 이물질 부착으로 인한 취수효율 감소와 열처리로 인한 고에너지 소비, 생태계 교란 등의 문제로 인해 광범위한 적용에는 부적합하다(Azis *et al.*, 2003).

서식지에 전류를 흐르게 한다거나 전자기장을 형성시켜서 초음파 진동을 주는 방법으로 민물담치의 제거가 가능할 수 있다(Lubyantov, 1964). 그 예로써 담치 유생의 경우, 0.02~0.1초 범위의 고전압을 순간 처리하였을 때 사멸되었다는 선행연구 결과도 있다. 실제로 이 방법들은 협소한 장소에서는 효과적이지만, 하천과 저수지의 취수원에서 넓게 적용함에 있어서 다소 어려움이 있다. 마지막으로 초음파와 핵방사선법이 있는데 이 방법들은 생물막을 형성하는 것을 방지하는 데 효과적이다(Azis *et al.*, 2003). UV-B는 유생의 착생을 저해할 수 있고, 좁은 공간에서 유용하다. 핵방사선은 도료에 포함시켜 부착을 방지하는 데 현저한 효과를 보일 수 있으나, 인체와 생태계의 악영향 우려로 보편적인 사용이 어렵다.

화학적 제거법으로는 대표적으로 염소처리법이 가장 많이 사용되고 있다(Buchmann, 1932; Krishnamoorthi and Rajagopalan, 1969; Azis *et al.*, 2003). 민물담치를 염소농도 10 ppm에 1시간 동안 노출했을 때 생존하고 있는 유생이 관찰되었고, 50 ppm으로 높여 9일간 노출하

Table 1. Habitat properties and major environmental factors of *Limnoperna fortunei*.

Factors	Upper or lower limits of <i>Limnoperna fortunei</i>	Remarks
Upper salinity limit (‰, range)	15 (0~12)	Boltovskoy and Cataldo, 1999
Upper temperature limit (°C)	35	Choi <i>et al.</i> , 1982
Lower temperature limit (°C)	0	Choi <i>et al.</i> , 1982
Minimal temperature for reproduction (°C)	16	Cataldo <i>et al.</i> , 2005; Maronas <i>et al.</i> , 2003
Larval development temperature (°C)	16~28	Morton, 1975; Cataldo <i>et al.</i> , 2005
Adult survival temperature (°C)	8~35	Morton, 1975; Choi <i>et al.</i> , 1982
Lower pH limit	5.5 (≥ 6.4)	Boltovskoy and Cataldo, 1999
Lower calcium limit (mg L ⁻¹)	3 (≥ 3.0)	Boltovskoy and Cataldo, 1999
Lower oxygen limit at 20°C (mg L ⁻¹)	0.5 (≥ 1.0)	Wilhelmi, 1924

였을 때 상당한 제거효과를 나타냈다(Wilhelmi, 1924). 따라서 민물담치를 제거할 수 있는 염소의 노출 농도와 접촉시간을 조합으로 산정하면 효과적인 제거가 가능하며, 광역적인 적용에도 추천될 수 있다.

또 다른 화학적 방법으로 용존산소(dissolved oxygen)에 의한 제거법이 있다. 일반적으로, 수생생물은 용존산소의 양에 의해 생존의 영향을 받으므로 수중 용존산소를 감소시켜 민물담치를 조절할 수 있다(Wilhelmi, 1924). 실험결과에 의하면, 민물담치는 초기 빈산소(3.0~5.0 ppm) 또는 저산소(1.0~2.0 ppm) 상태의 장기 조건에서 제어효과가 있어 생물량을 조절할 수도 있지만, 다른 수중생물에게도 영향을 줄 수 있으므로 오염을 더욱 가속시키는 문제가 제기됨으로 바람직한 방법은 되지 못한다. 이 외에도 황산구리(CuSO₄), 염화구리(CuCl₂) 등의 화학물질을 투여하는 방법이 있으나, 구리 성분의 강한 독성으로 인해 상수원의 원수에는 사용될 수 없는 제약이 있다.

생물학적 제거방법으로는 천적 이용법과 먹이 제한법이 있다(Azis *et al.*, 2003). 천적이용법은 친환경적인 방법으로써 생태계를 파괴하지 않고 자연적으로 제거할 수 있는 가장 이상적인 방안이지만 현실성이 작다. 먹이 제한법은 민물담치 유생의 먹이가 될 수 있는 동식물플랑크톤의 번식을 억제시켜 유생 생물량을 조절하는 방법이다. 수중에 황산구리 결정을 용해시켜 플랑크톤 밀도를 조절함으로써 효과를 증진시킨 사례가 있다(Flentje, 1945).

민물담치 제거방법으로써 기계적 제거법, 건조법, 여과법 등의 물리적 제거방안은 일시적인 효과는 있으나 반면에 지속적으로 재처리하여야 하는 문제로 경제성이 없다. 전류와 전자기 처리법은 협소한 지역에 한하여 적용할 수 있다는 한계가 따른다. 또한 취수관을 설치하는 초기에 여분의 취수관을 설치하여, 교대로 사용한다면 취수관에 부착한 민물담치를 자연적으로 제거할 수 있는 좋은 방안이라고 생각된다. 그러나 이것은 신규로 댐을 건설하여 취수관을 설치할 때 고려되어야 하는 것으로서 기존의 취수관에는 적용할 수가 없다.

한편 생물학적 처리 방법은 생태계를 유지하면서 민물담치를 제거할 수 있는 가장 효과적인 방법이지만, 현재까지는 이 분야의 연구가 많이 되어 있지 않아 앞으로 더욱 활발한 연구가 이루어진 후에야 실제 적용할 수 있는 방안이라고 사료된다.

화학적으로 제거할 수 있는 화학물질은 여러 종류가 있으나, 상수원으로 이용되는 물에 사용하였을 때 독성을 나타내거나 좋지 못한 맛냄새를 야기해서는 안된다.

이러한 점을 고려해 볼 때, 염소처리하는 투여 초기에 민물담치의 제거제로 사용되지만 시간이 지남에 따라 공기 중으로 기화하여 그 농도가 점차 감소된다. 그래서 먹는 물의 원수에 사용할 때 별다른 지장은 없다. 또한 민물담치를 제거하기 위해서는 지속적인 투여가 있어야 하는데, 기존 정수처리에서 전염소를 처리하는 단계가 있으므로 이를 잘 활용한다면 유용한 방법이 될 수 있다. 그리고 가장 효과적으로 작용할 수 있는 발생단계와 투여량 등을 결정할 수 있다면 효과성뿐만 아니라 경제성의 문제도 해결되리라 생각된다.

선행연구에서 실제로 염소농도 25.8 ppm을 1시간 30분 동안 처리 하였을 때 chironomid 유생의 사멸을 보였고, 6.50 ppm으로 24시간 처리하면 80%의 사멸효과 있었다(Buchmann, 1932). 또한 염소에 황산구리를 첨가하면 사멸하는 데 걸리는 시간이 더욱 감소되었다. 염소의 접촉농도에 따른 민물담치의 연령별 사멸에 대한 결과(Choi *et al.*, 1982)에서 민물담치의 연령이 증가함에 따라 사멸에 소요되는 기간이 증가하며, 특히 각정기에서 1년생의 치패사이에는 큰 폭으로 증가하였다. 이것은 유생기와 각정기에는 껍질이 연약하므로 차아염소산나트륨(Sodium Hypochlorite, NaOCl)이 각을 쉽게 용해시켜 높은 효과를 보인 것으로 사료된다.

유생기에는 사멸에 필요한 시간이 12(50%)~24(100%)시간이었고, 유생에 가장 효과적으로 작용할 수 있는 농도는 0.5 ppm이었다. 이러한 결과는 얼룩담치의 경우, 유생 단계에서 염소처리법이 가장 경제적이라는 결과와 유사하였다(Krishnamoorthi and Rajagopalan, 1969). 각정기에서 염소처리 농도에 따른 사멸율을 달리하는데, 염소농도 0.5 ppm으로 처리하였을 때 100% 사멸에 소요되는 기간은 4일이었고, 2 ppm으로 처리하였을 때 2일로서 농도가 4배 정도로 증가함에 따라 사멸에 소요되는 기간은 절반으로 감소하였다. 따라서 이 시기에 접촉되는 염소농도와 사멸율의 관계에서 경제성을 고려하면 0.5 ppm 처리가 보다 효과적일 것으로 추정된다.

치패와 성체 단계에서 각 농도의 염소처리 효과에 일정한 반응을 나타내어 0.5 ppm으로 처리하였을 때 100% 사멸에 18~20일 정도가 소요된다. 또한, 2 ppm에서 16일, 5 ppm에서 14일으로써 염소의 농도가 증가함에 따라 사멸에 소요되는 기간은 감소된다(Choi *et al.*, 1982). 그러나 염소의 농도를 0.5 ppm에서 5 ppm으로 10배 증가시켰을 때 사멸에 소요되는 기간은 4~6일 정도 감소한다. 그러므로 치패와 성체에서도 0.5 ppm으로 18~20일 동안 지속적으로 접촉시키는 것이 가장 효과적일 것으로 본다.

Table 2. Qualitative comparison of *Limnoperna fortunei* biomass and major environmental factors in Paldang and Sueo Reservoir.

Factors\Locality	Paldang Reservoir	Sueo Reservoir
Density of <i>Limnoperna fortunei</i> (in pipeline)	High	Low
Temperature	High	Low
Food sources (Planktonic)	Much	Poor
Hydraulic capacity	Large	Small

이러한 결과는 비교적 저농도의 염소를 1~2주간 계속적으로 투여하는 것이 사멸에 효과적으로 작용한다는 결과(Greenshields and Ridley, 1957)와 비슷하였다. 따라서 염소처리의 효과는 농도와 처리시간에 의해 결정되는 함수 관계를 가지며, 동일한 효과를 나타내는 데 여러 가지 방법이 있으나 경제성을 고려하여 결정되어야 하겠다. 다양한 염소농도에서 12시간 동안 처리하였을 때, 유생기는 100%, 각정기는 30%, 치패와 성패는 10% 미만의 적은 사멸율을 보인다. 이러한 결과는 12시간의 비교적 단시간 동안 염소를 처리하여 민물담치의 유생을 제거할 수 있음을 보여준다(Choi *et al.*, 1982).

수온을 17°C에서 22°C로 증가시켰을 때 사멸효과가 더욱 향상되었고(Choi *et al.*, 1982), 이러한 결과는 얼룩담치를 대상으로 6~8월에 7일간 사용한 0.5 ppm농도와 4~5월에 10~20 ppm농도의 효과에서 거의 동일하다는 결과(Greenshields and Ridley, 1957)와도 유사한 것으로서 수온이 상승함에 따라 염소처리 효과는 더욱 현저함을 알 수 있었다. 반면에, 수온상승이 민물담치의 생리 및 형태적인 변화를 유도하는 것인지 또는 폐각의 개폐를 유도하여 염소의 접촉효과를 높이는 것인지는 아직까지 규명해야 하는 과제로 남아 있다.

민물담치로 인해 직접적인 피해가 야기된 지역인 팔당호(수도권 중부지역), 수어호(광양권 남부지역) 계통을 선정하여 연구 대상으로 비교하였다. 팔당호와 수어호의 수온, chlorophyll-*a* 및 체류시간은 한국수자원공사에서 측정된 자료를 이용하였다. 그리고 민물담치 생물량은 본 연구에서 직접 조사된 결과를 활용하였다(Shin *et al.*, 2013). 수온의 경우, 팔당호는 1989~2007년, 수어호는 1992~2007년 동안의 자료를 각각 대상으로 하였다. Chlorophyll-*a*의 경우, 수어호는 동일한 기간이었으나, 팔당호는 2001~2007년 동안 자료로서 비교 분석하였다(Appendix 1~2 참조).

팔당호와 수어호에서 각각 측정된 월별 평균 수온값을 그래프로 도시한 후, 문헌적 검토 결과(Table 1)를 근거로 민물담치의 산란과 증식의 온도를 고려하여 투입시기, 처리농도 및 접촉시간을 추정하였다. 지역적으로 다른 두 지역에서 민물담치의 생물량과 주요 환경요

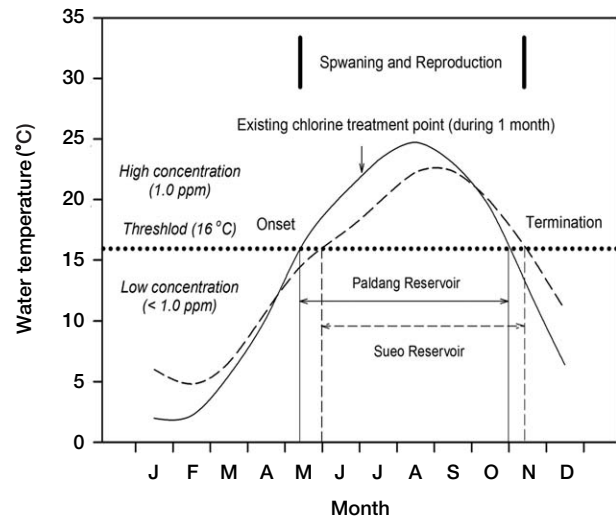


Fig. 2. Estimation of the spawning and reproduction periods of *Limnoperna fortunei* and chlorination condition using the distribution of water temperature of Paldang and Sueo Reservoir.

인에 대한 생태학적 질적 수준은 상대적으로 부영양화된 팔당호가 보다 취약한 것으로 볼 수 있었다(Table 2). 수온에 따라 염소처리의 효과가 상이함에 따라 민물담치의 생활사를 고려하여 연간 수온분포(평균값)를 그래프로 정형화하였고, 민물담치 생육기의 산란과 생식기간 및 염소처리 시기를 분석하여 비교한 것은 Fig. 2와 같다.

민물담치의 산란 생식기간은 16°C (Cataldo *et al.*, 2005)를 기준으로 수어호의 경우 5월 중순부터 10월 하순, 팔당호의 경우 5월 하순부터 11월 중순까지로 각각 추정되었다. 유생을 조절하기 위해서는 이 기간에 염소처리를 하는 것이 적합하나, 기존에 부착하고 있는 치패와 성패가 동시에 고려되어야 하므로 연중 지속적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다. 산란이 시작되는 시기에서 각이 형성되기 전인 유생기와 성패의 생물량 조절을 위해 0.5~1.0 ppm 범위의 염소농도로 처리하는 것이 적합한 것으로 분석되었다(Fig. 2). 또한, 수온을 기준으로 할 때 16°C 이상인 시기에는 1.0 ppm으로 접촉시키고, 그 이하 수온시기에는 1.0 ppm보다 낮은 농도로

적용하는 것이 보다 효과적일 것으로 판단되었다(Fig. 2). 끝으로, 민물담치 발생에 대한 저감방안을 적용할 때 대상시설에 적합한 사전 기술검토가 있어야 하겠으며, 이와 더불어 효과분석에 대한 체계적인 사후모니터링 계획도 동시에 강구되어야 할 것으로 사료된다.

적 요

본 연구는 관로내의 민물담치 및 유생의 생물량을 효과적 조절하기 위해서 수행되었다. 부착방지 및 생물량 조절방법은 기존에 사용되고 있는 염소처리법이 추천될 수 있었다. 민물담치의 산란기간은 수온 16~17°C 범위에 해당하는 5월~11월 초순 동안으로 추정되었다. 유생을 조절하기 위해서는 이 기간에 염소처리를 하는 것이 적합하나, 기존에 부착하고 있는 치폐와 성폐가 동시에 고려되어야 하므로 연중 지속적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다. 산란이 시작되는 시기에서 각이 형성되기 전인 유생기와 성폐의 생물량 조절을 위해 0.5~1.0 ppm 범위의 염소농도로 처리하는 것이 적합하다. 민물담치의 부착증식을 경감 또는 해결하기 위해서는 우선적으로 국내 실정에 적합한 기술의 선정이 시급하였다. 또한 수온과 유생의 모니터링이 지속적으로 이루어져야 할 것으로 판단되며 유생 모니터링 방법 구축 및 염소처리 효과분석에 대한 사후모니터링이 필요한 것으로 사료되어진다.

사 사

본 연구는 한국수자원공사 K-water연구원과 수도권리처의 현장문제 해결형 연구개발 및 기술지원의 일환으로 수행되었습니다. 그리고 세심하게 논문을 심사해주신 위원들께 감사드립니다.

REFERENCES

Azis, P.K.A., I. Al-Tisan, M. Al-Daili, T.N. Green, K. Ba-Mardouf, S.A. Al-Qahtani and K. Al-Sabai. 2003. Marine Macrofouling: a review of control technology in the context of an on-line experiment in the turbine condenser water box of Al-Jubail Phase-I power/MSF plants. *Desalination* **154**: 277-290.

Boltovskoy, D. and D.H. Cataldo. 1999. Population dynamics

of *Limnoperna fortunei*, an invasive fouling mollusc, in the lower Parana River (Argentina). *Biofouling* **14**(3): 255-263.

Buchmann, R. 1932. The damages caused by the Chironomidae in the activated sludge method and their prevention and elimination by chemical substances. *Z. Gesundheitstsch. Stadtehyg (Ger.)* **24**: 31-83.

Cataldo, D., D. Boltovskoy, J.L. Hermosa and C. Canzi. 2005. Temperature-dependent rates of larval development in *Limnoperna fortunei* (Bivalvia: Mytilidae). *Journal of Molluscan Studies* **71**(1): 41-46.

Choi, K.C., S.S. Choi and C.N. Shin. 1982. Ecological Research Report of Freshwater Mussels. Industrial Base Development Public Corporation, Seoul Korea. (in Korean)

Flentje, M.E. 1945. Elimination of midge fly larvae with DDT. *Journal American Water Work Association* **37**: 1053.

Greenshields, F. and K.E. Ridley. 1957. Some researches on the control of mussels in water pipes. *Journal of The Institution Water Engineers* **11**: 300-306.

Iwasaki, K. and Y. Uriu. 1998. Life cycle of a freshwater mytilid mussel, *Limnoperna fortunei*, in Uji River, Kyoto. *Venus* **57**: 105-113.

Kim, D., S. Hwang, E. Jeong, C. Shin, Y. Yu and S. Hong. 2011. Prechlorination at water intake for the quality improvement of raw water. *Journal of Korean Society on Water Quality* **27**(1): 110-114. (in Korean)

Krishnamoorthi, K.P. and S. Rajagopalan. 1969. Survey of mollusca nuisance in some water supplies of Calcutta. Symposium on Mollusca, Marine Biological Association of India, Part 1. p. 746-754.

Lubyantsev, I.P. 1964. The mollusca *Dreissena polymorpha* in the water supply system for the dneiper state regional power plant and measures for its control mollyuski voprosy teoreticheskoi; prinklaclnoi malak. Moscow, Leningrad. p. 299-308. (in Russian)

Magara, Y., Y. Matsui, Y. Goto and A. Yuasa. 2001. Invasion of the non-indigenous nuisance mussel, *Limnoperna fortunei*, into water supply facilities in Japan. *Journal Water Supply Research and Technology* **50**(3): 113-124.

Maronas, M.E., G.A. Darrigran, E.D. Sendra and G. Breckon. 2003. Shell growth of the golden mussel, *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mytilidae), in the Rio de la Plata, Argentina. *Hydrobiologia* **495**: 41-45.

Miller, R.C. and F.A. McClure. 1931. The freshwater clam industry of the Pearl River. *Lingnan Science Journal* **38**: 471-482.

Montalto, L. and I.E. Drago. 2003. Tolerance to desiccation of an invasive mussel, *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia, Mytilida), under experimental conditions. *Hydrobiologia* **498**: 161-167.

Morton, B.S. 1975. The colonisation of Hong Kong's raw water supply system by *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia; Mytilacea) from China. *Malacological Review*.

8: 91-105.

Shin, Y.S., S.A. Chong and J. K. Shin. 2013. Ecological characteristics of *Limnoperna fortunei* in an enclosed facility of water supply pipeline. *Journal of Korean Society on Water*

Environment 29(3): 420-427. (in Korean)

Wilhelmi, A. 1924. "Zur Berämpfung der Wandermuschel Dreissenia". *Wasser U. Gas*. Vol. 15, p.155.

Appendix 1. Monthly mean values of water temperature (°C) in Paldang Reservoir and Sueo Reservoir.

Month \ Locality	Paldang Reservoir (1989 ~ 2007)				Sueo Reservoir (1992 ~ 2007)			
	Mean	SD	Max.	Min.	Mean	SD	Max.	Min.
January	1.9	0.9	3.0	1.0	6.0	1.0	7.0	4.0
February	2.2	1.0	5.0	1.0	4.8	0.9	6.0	3.0
March	5.5	2.2	11.0	3.0	6.6	1.5	10.0	4.0
April	10.2	1.7	15.0	8.0	10.8	1.5	14.0	8.0
May	16.4	1.5	20.0	14.0	14.7	2.0	18.0	11.0
June	20.2	2.0	24.0	17.0	17.1	2.4	21.0	14.0
July	23.2	2.5	28.0	19.0	19.7	2.7	25.0	14.0
August	24.7	2.5	30.0	21.0	22.3	2.4	26.0	17.0
September	23.0	2.0	27.0	20.0	22.3	1.5	25.0	19.0
October	19.3	1.3	22.0	17.0	19.8	1.5	22.0	17.0
November	12.8	3.5	16.0	9.0	15.8	1.4	18.0	14.0
December	6.4	1.7	9.0	3.0	10.9	1.6	13.0	8.0
Total	13.8	1.9	17.5	11.1	14.2	1.7	17.1	10.8

Appendix 2. Monthly mean values of chlorophyll-*a* concentration (mg m⁻³) in Paldang Reservoir and Sueo Reservoir.

Month \ Locality	Paldang Reservoir (2001 ~ 2005)				Sueo Reservoir (1992 ~ 2007)			
	Mean	SD	Max.	Min.	Mean	SD	Max.	Min.
January	7.9	4.0	13.8	4.3	2.5	1.4	5.1	0.7
February	16.8	2.1	19.6	13.1	2.8	1.5	5.4	0.4
March	28.3	14.5	57.8	12.3	3.1	1.7	5.8	0.4
April	36.3	28.7	104.8	13.2	4.0	1.9	7.0	0.4
May	24.6	8.9	41.4	11.2	3.9	1.9	7.8	0.4
June	15.8	5.7	23.4	7.8	3.5	1.4	6.3	0.4
July	20.4	15.5	55.3	7.1	5.5	8.8	36.4	0.9
August	12.3	7.8	26.6	2.2	4.0	1.7	8.9	1.6
September	10.1	5.2	18.6	3.8	4.0	2.2	10.6	0.3
October	22.0	7.7	40.0	14.6	3.4	1.2	5.1	0.8
November	20.4	7.0	29.6	6.7	3.0	1.4	5.5	1.4
December	11.7	4.1	17.2	6.7	3.2	1.9	7.6	0.9
Total	18.9	9.3	37.3	8.6	3.6	2.2	9.3	0.7