

## 개산톤 중점 오염원배출 감소에 의한 두만강 수질개선 효과

임봉수<sup>†</sup> · 신형철\*

대전대학교 환경공학과 · \*중국연변환경보호감측점

(2008년 8월 8일 접수, 2008년 10월 10일 채택)

### Improvement of Water Quality in Tumen River Owing to Reduction of Main Pollution Source from Kaishantun

Bong-Su, Lim<sup>†</sup> · Heng-Zhe, Shen\*

Department of Environmental Engineering, Daejeon University · \*Yanbian Environmental Protection Contamination Station

#### 1. 서론

두만강은 중국과 북한 양국 사이의 강으로 오랫동안 두 나라의 공업폐수와 도시생활오수의 오염에 의해 두만강 수질은 매우 양호하지 못했다. 물에는 부유물질, 유기물질 함량이 매우 높았고, 겨울철의 물 부족시기에는 물속의 용존 산소량은 거의 0에 가까웠다. 따라서 양안의 도시 생활용수공급, 농업, 어업, 관광업의 정상적인 발전에 커다란 영향을 미쳤다. 두만강 중류에 위치한 개산톤에 있는 연변진명종이유한회사는 공장폐수를 효과적으로 처리하지 못해 두만강의 수질오염을 심각하게 하는 주요 오염원이었다.

연변진명종이유한회사(延邊晨鳴紙業有限公司)는 원래의 개산톤화학섬유종이공장으로 이 공장은 1938년 일본침략시기에 지어졌다. 해방 후 개산톤화학섬유종이공장은 점차 규모를 확대하였고 또한 중국의 유일한 목재를 사용하여 화학섬유종을 생산하는 대형기업으로 발탁되었으며 국가의 방직부에 직속되었다. 당시, 기술경계가 낙후하기 때문에 사용하는 용수량이 많고 오염물질의 배출량도 매우 많았다. 배출한 공업폐수는 국가에서 규정한 배출기준을 심하게 초과했다. 최근 10년 동안, 원래의 개산톤화학섬유공장은 여러 차례의 체제개혁을 거쳐 지금의 연변진명종이유한회사로 바뀌게 되었다. 최근 몇 년이래, 연변진명종이유한회사는 원래 기업에서 배출되는 폐수를 증발농축 시키는 초보적인 종합처리방식에서 몇 천만원(중국인민폐)을 투자하여 공장내 기술개조를 거쳐 오수처리장을 새로 설치하여 전체 공장의 일배출량이 원래의 십 몇 만톤에서 약 4만톤 정도로 대폭적으로 줄어들었다. 2007년 6월 이후에는 전면적으로 처리수 수질 표준에 도달하는 배출을 할 수 있었다.

2007년 6월 이전에는 연변진명종이유한회사는 원래 2개의 공업폐수방류구가 있었다. 하나는 남구(南溝)라고 하는데 전문적으로 처리를 거치지 않은 공업폐수를 배출하고 다른 하나는 오수처리장 방류구라고 부르는데 이 방류구는 처리를 거친 공업폐수를 배출한다. 기술적 개조를 하여 2007년 6월에 남구방류구를 완전히 없애버리고 오수처리장 방류구만 남겼다. 연변진명종이유한회사의 배출구의 검측결과에 따르면 동년 7월, 10월에 COD<sub>Cr</sub>, BOD, 총비소의 배출량은 1월, 3월에 비해 각각 87.7%, 96.9%, 99.5% 감소되었다.

본 현장조사의 내용은 2007년 중국 두만강 수질검측자료를 이용하여 두만강에 위치한 연변진명종이유한회사(개산톤화학섬유종이공장)에 배출하는 중점 오염원의 감소배출이 두만강의 수질개선에 대한 효과를 종합분석하였다.

#### 1.1. 두만강 환경현황

##### 1.1.1. 자연환경현황

두만강은 중국과 북한사이의 강으로서 길림성 동남부에 위치해 있고 연변조선족자치주경내에 있다. 흐름의 총길이는 505.4 km이고 그 중 490.4 km는 중국과 북한의 경계하천이고, 15 km는 북한, 중국, 러시아의 경계하천이다. 총유역면적은 33,168.4 km<sup>2</sup>이고, 그 중 22,861 km<sup>2</sup>가 중국에 위치해 있다. 총 낙차는 1,200 m이고 평균 경사도는 0.64%이다.

두만강의 발원지는 백두산(중국 이름: 장백산)주봉인 동락(東麓)이고 강 흐름은 동북쪽으로 밀강(密江)에 도달하고 다음 동남방향으로 접어든다. 다음은 동쪽의 훈춘 방천 아래의 토자비(土字碑)로 경계를 벗어난다. 경계를 벗어난 후 15 km의 북한-러시아 변경을 지나 동해에 흘러 들어간다.

두만강의 약 10년 동안 평균유량은 214.5 m<sup>3</sup>/s, 최대유량은 11,300 m<sup>3</sup>/s이고, 최소유량은 6.15 m<sup>3</sup>/s 밖에 안된다. 년평균수량은 67.64억 m<sup>3</sup>이다. 구역 내 강우량은 계절변화의

<sup>†</sup> Corresponding author  
E-mail: bslim@dju.ac.kr  
Tel: 042-280-2531

Fax: 042-284-0109

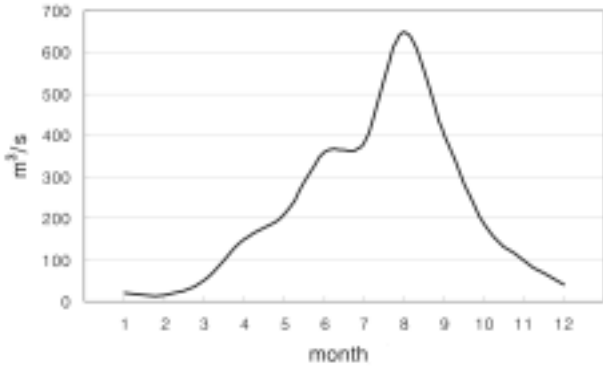


Fig. 1. Average monthly flow in Tumen river for many years (at Quanhe).

영향을 많이 받기 때문에 1년 사이 유량의 변화도 크다. Fig. 1은 두만강 권하(圈河: Quanhe) 지역에서 평균 월별 유량을 나타내고 있다. 연간 총유량의 70%는 6~9월에 집중되고, 12월부터 다음 해 3월까지의 유량은 연간 총유량의 4.7%밖에 안된다.

1.1.2. 사회환경현황

연변조선족자치주는 모두 8개의 현과 시를 갖고 있는데 그중에는 연길시, 훈춘시, 용정시, 도문시, 화룡시와 왕청현, 안도현 등 7개의 현을 갖고 있다. 전체 유역에는 중국의 43개의 향, 진, 18개의 거리사무소(街道辦事處)가 있다. 연변조선족자치주의 총인구는 2006년말 기준 2,177,966명이고 이 중 조선족은 811,761명으로 37.3%를 차지한다.<sup>1)</sup> 연길시는 자치주의 정부소재지로 인구는 약 43만명이며 조선족이 57.7%로 자치주내의 다른 시에 비해 조선족이 가장 높은 비율이다.<sup>2)</sup>

2007년 통계에 의해 추산된 두만강유역의 총인구는 1,538,902명이고 그 중 조선족은 764,327명이고 총인구의 49.7%를 차지하고 한족은 72,6393명으로서 총인구의 47.2%를 차지한다.<sup>1)</sup> 기타 소수민족은 3.1%를 차지한다.

두만강유역의 공업에는 주로 아래와 같은 것이 있다. 석탄 및 세전공업, 유색금속의 채집업, 비금속광물질제품업, 농업부식품가공업, 식품제조업, 음료수제조업, 연초제품업, 방직업, 목재가공업, 제지 및 종이제조업, 석유가공업, 화학원료 및 화학제품제조업, 의약제조업, 화학섬유제조업, 고무제조업, 플라스틱제조업, 전력, 열에너지의 생산과 공급업 등이 포함된다. 두만강유역내 밭 면적은 16만 ha이고 그 중 논 면적은 14%를 차지한다.

2006년 두만강유역의 7개의 시와 진의 물 공급량은 47.71만 톤/일이고 한다. 년간의 실제 물 공급량은 17,800만 톤인데 그중 생활용수는 70%를 차지하고 공업용수는 30%를 차지한다.<sup>1)</sup>

1.2. 두만강의 수질오염 현황 및 영향

1.2.1. 주요염원

수체는 대부분 종이제조업 및 화학섬유제조업의 공업폐

수와 도시의 생활오수의 영향을 받으며 수질오염은 유기물질의 오염이 주원인이다. 그리고 사람들의 생활수준의 향상과 경제발전이 속도가 빨라짐에 따라서 생활쓰레기와 고형폐기물의 오염이 날마다 뚜렷해지는 상황이다. 특히 진명종이유한회사는 두만강의 물을 오염시키는 주요한 오염원으로 되고 있다. 또한 개산톤 상류 272 km되는 곳의 화룡시 덕화향(和龍市 德化鄉)의 맞은 편 북한의 무산철광(茂山鐵礦)에서 방출하는 공업폐수는 북한의 성천강(成川江)을 거쳐서 직접 두만강에 흘러들기 때문에 두만강의 수질오염을 가중시키고 있다. 두만강 하류에 있는 북한의 아오지화학공장(阿吾地化工厂)도 두만강의 주요한 오염원이다.

1.2.2. 수질오염 현황

두만강의 본류의 대부분의 구간은 다양한 오염을 받고 있다. 승선구간 상류의 수질은 인위적인 오염이 없기 때문에 양호하며 수질 표준은 2급이다.<sup>5)</sup> 남평구간은 북한의 무산철광에서 배출하는 미광사를 대량으로 받아들였기에 수체중의 부유물질 함량이 선명하게 높아져서 물오염이 심각하게 되었다. 개산톤 구간까지는 수중에 가끔 COD와 BOD가 표준을 넘는 현상이 나타나기도 하지만 수체의 유기물질오염은 뚜렷하지 않았다. 두만강 개산톤 단면이하는 진명종이유한회사가 배출하는 공업폐수 때문에 수체중의 유기오염지표가 현저하게 증가되었고 거기에서 석현종이공장의 공업폐수에 의해 오염된 가아하(嘎呀河)의 물이 두만강에 흘러들어옴으로써 두만강 본류의 오염이 더욱 심각하게 되었다.

북한의 무산철광은 북한에서 제일 큰 광산이다. 중요하게 자철광(Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)이 위주이고 그 저장량은 약 11억 톤이다. 두만강수계오염 및 수자원보호에 관한 연구 성과에 의하면 70년대 말, 무산철광은 매일 50만 톤의 공업폐수를 배출하고 매년 두만강에 들어가는 공업폐수는 1,000만 톤이라고 한다.<sup>3)</sup> 그리고 북한에서 사적으로 유량이 비교적 큰 서두(西頭)의 물길을 고쳐서 북한에 허가없이 두만강의 유량이 현저하게 감소되었으므로 두만강의 오염을 더욱 심각하게 되었다. 최근 몇 년 동안, 중국은 북한의 무산철광에서 대량의 철광분을 수입하였다. 조사에 의하면 화룡시 남평구 안에서 진입한 철광분의 양은 2005년에는 80만 톤에서 2006년에는 120만 톤으로 증가되었다. 현재까지 무산철광이 선광에 사용되는 폐수는 아무런 처리도 거치지 않고 직접 두만강에 배출되기 때문에 두만강은 시중 혼탁한 상태에 처해 있다.

아오지화학공장은 두만강 하류인 훈춘시경신향(珲春市 敬信鄉)의 맞은 편 북한에 위치해 있다. 두만강수계오염 및 수자원보호에 관한 연구 성과에 의하면 아오지화학공장은 1937년에 건립된 것으로서 북한의 무기화학과 유기화학의 중요한 기초공업중의 하나이다.<sup>3)</sup> 70년대 말, 이 공장은 매년 60만 톤의 갈탄을 처리하고 매년 콜타르(coal tar) 1.5만 톤을 생산하였다. 생산과정에서 매일 18만 톤의 처리를 거치지 않은 고농도 유기폐수를 배출하였고, 폐수성분은 매우 복잡한데 페놀의 농도는 0.23 mg/L로 함량이 비교적

높았다. 아오지화학공장은 대량의 폐놀을 함유한 유기폐수를 배출하기에 두만강하구에서 겨울을 지내는 물고기들의 수량이 급속히 줄어들고 얼마 남지 않은 물고기들도 체내에 석유 냄새가 너무 강하여 사람들이 식용할 수 없다.

아오지화학공장의 생산도 정상적이지 못하다고 한다. 두만강의 구역 하천검측단면 우측의 수질검측자료의 분석에 의하면 80년대 중기부터 시작하여 수중에 휘발성 폐놀, 구리 등 특수한 오염물질의 오염이 뚜렷하게 감소하였다고 한다. 이것은 이 공장이 정상적인 가동을 하지 않는 상태에 있음을 보여주고 있다.

### 1.2.3. 수질오염에 따른 영향

도문시에는 현재 약 7만의 인구가 살고 있다. 두만강과 가야하의 합류되는 곳은 물자원이 풍부하지만 두 강이 모두 심각하게 오염되었기 때문에 도시의 물공급에 쓰일 수 없다. 1978년 이전에는 도문시에서는 심각하게 오염된 두만강 물을 도시에 공급하였다. 비록 인공정화처리를 거쳤지만 원래 심하게 위생표준을 초과하는 물이라서 사람들은 오랫동안 오염된 물을 마신 탓에 도문시 사람들은 다른 도시의 사람들보다 각종 질병 발생율이 현저하게 높았다. 음료수원을 해결하기 위하여 1976~1978년에 국가에서 1,100만원(중국인민폐)을 투자하여 580만 m<sup>3</sup>에 달하는 봉오(楓梧)저수지를 새로 건설하였다. 그러나 도시의 규모가 부단히 발전하고 주민들의 생활수준이 날로 발전됨에 따라 겨울철 물 부족시기에는 심하게 오염된 두만강 물을 끌어들이 수 밖에 없었다. 현재 겨울철에 두만강에서 매일 3,000~4,000톤의 물을 보충 받고 있다. 두만강의 물은 도문시의 사회경제와 주민들의 생활안전에 커다란 영향을 미치고 있다.

두만강 유역에는 물고기들의 종류가 많지 않다. 조사에 의하면 37가지 종류밖에 안된다고 한다. 두만강의 물고기들은 독특한 구역특색을 갖고 있으며 적지 않은 물고기들은 큰 경제적 가치를 갖고 있다. 관련자료에 의하면 1940년대 훈춘현 경내에서만 연어를 10만 마리정도 잡았다고 한다. 어민의 말에 의하면 옛날에는 연어의 알을 까는 계절에는 무리를 지은 연어가 두만강을 따라서 올라왔고 두만강 하류뿐만 아니라 지류인 훈춘하내에서도 대량의 물고기를 잡을 수 있었다고 한다. 그리고 부르하통하, 해란강 내에서도 손쉽게 물고기를 잡을 수 있었다고 한다. 주민들은 <물고기의 등을 던지고 물을 건넜고, 막대기만 들면 물고기를 잡을 수 있다>고 말할 정도로 물고기가 많았다. 그러나 약 30년 동안 수질이 심각하게 오염됨에 따라 하류 30여 km구간 이외에서는 물고기를 찾아보기가 힘들다고 한다. 현재 연어 등 물고기는 이미 두만강에서 자취가 사라지고 있고 중국 경내호수에서 두만강까지 연어는 몇 마리가 안된다고 한다.

오랫동안 북한의 무산철광의 선광에 사용되는 폐수의 오염 때문에 두만강 수질 중 부유물질함량이 너무 높았다. 진명종이유한회사는 생산용수 수질의 안전을 위하여 수처

리 설비를 증가할 수 밖에 없었다. 이 공장은 매년 500~600만원(2005년 물 처리비는 중국인민폐 600.41만원)을 사용하여 혼탁된 물을 맑게 하여 생산용수로 사용하고 있었다.

예로부터 두만강은 산이 푸르고 물 맑기로 세계에 소문났었다. 더욱이 두만강은 중국, 북한, 러시아 3국 변경의 하류지구에 위치해 있어 더욱 세계 사람들의 눈길을 끌었다. 최근 10년 동안 두만강 지구의 개발과 개방에 따라서 두만강 연안에 있는 도문시, 훈춘시의 경외 유람객들이 더욱 많아지는 추세를 보이고 있었다. 더욱 많은 유람객들을 끌어들이기 위하여 현지 여행부문에서 도문시 입구부근의 두만강 연안, 훈춘시의 방천 등지에 공원을 건설하였고 유람선도 확대하였다. 두만강 물은 심각하게 오염되었기 때문에 정상적으로 배를 띄울 수 없었고 수영, 낚시질 등 수중의 오락 활동을 할 수 없게 되었다. 도문과 방천 등지에서 유람선이 있긴 하지만 강물이 너무 더러워서 외국 유람객들은 거의 배를 타지 않는다. 두만강의 심각한 오염은 직접적으로 이 구역 관광업의 정상적인 발전에 안 좋은 영향을 주었다.

### 1.3. 개산톤 중점 오염원 배출감소의 중요성

연변진명종이유한회사는 개산톤진에 위치해 있으며 두만강의 오염을 일으키는 중요한 원인 중의 하나이다. 개산톤 중점 오염원의 감소배출을 개선하는 것은 두만강 수질을 개선하는 관건이다. 최근 몇 년동안 진명종이유한회사와 원래의 길림아송실업무한회사는 오염물질총량의 감소배출을 하여 두만강의 수질을 개선하기 위하여 지속적으로 중국인민폐 약 2.0억원을 투자하여 기술개조를 진행하고 공업폐수를 처리하여 대폭적으로 유기폐수와 부유물질의 배출량을 감소시켰다. 특히 2007년 6월 공장구역내의 관망기술(管网技術) 개조와 제한된 생산운영을 통하여 회사의 생산용수의 양을 51,000톤/일에서 37,000톤/일로 감소시켜서 오수처리장이 더욱 좋은 운영을 할 수 있도록 하였다. 이와같은 조치들은 두만강 수질의 개선에 적극적인 영향을 일으켰다.

## 2. 조사방법

조사대상은 연변진명종이유한회사(Photo. 1 참조)와 두만강 개산톤이하의 중점오염 구간인 도문, 하동, 권하이다. Fig. 2는 두만강 본류의 주요 수질측정 지점을 나타내고 있으며 상류지점부터 송선(崇善: Chongshan), 남평(南坪: Nanping), 삼합(三合: Sanhe), 개산톤(Kaishantun), 도문(圖們: Tumen), 하동(河東: Hedong), 권하(圈河: Quanhe) 순으로 되어 있다.

조사내용은 2007년 1월~10월 동안 진명종이유한회사가 처리 전 공업폐수의 방류량 및 폐수 중 COD<sub>Cr</sub>, BOD, 총비소 농도와 두만강 본류의 도문, 하동, 권하 단면의 2007년 1월~11월 동안 수질 검측결과에 의한 COD<sub>mn</sub>, BOD, 총비소의 실제측정농도를 활용하였다. 여기서 COD<sub>mn</sub>은 과

망간산칼륨, COD<sub>Cr</sub>은 중크롬산칼륨을 각각 다른 산화제로 사용한 것이며, 일반적으로 하천수질환경기준의 경우 COD는 COD<sub>mn</sub>을 의미하고 공장폐수의 COD는 COD<sub>Cr</sub>을 의미한다.

정확한 검측수치를 조사하기 위해, 연변환경보호검측점을 방문하여 2007년 연변진명종이유한회사에 대해 진행한 샘플 검사자료를 수집하였다. 직관적으로 분석하고 비교하기 위하여 많은 검측수치 중에서 대표성이 있는 수치 중 2007년 1월, 3월, 7월, 10월에 각각 임의의 1일의 검측 수치를 선택하였다. 검측항목은 COD<sub>Cr</sub>, COD<sub>mn</sub>, BOD, 총비소를 택하였으며 분석방법은 중국 국가환경보호총국의 물과 폐수검측분석방법에 의해 분석하였다.<sup>4)</sup>



Photo. 1. Yanbian chenming paper industry company in kaishantun.

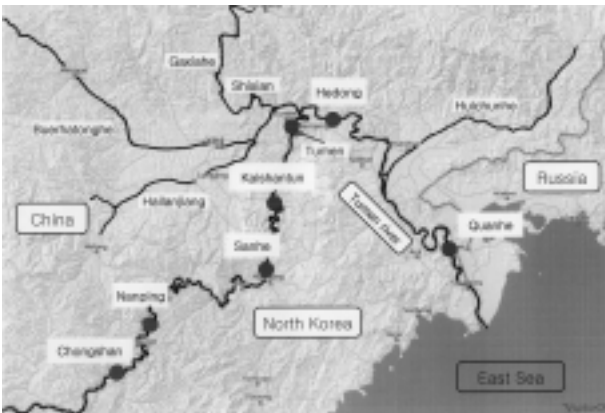


Fig. 2. The main sampling stations in Tumen river.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 조사결과

연변환경보호검측점에서 2007년 1월, 3월, 7월, 10월에 진명종이유한회사의 공업폐수에 대한 검측결과는 Table 1과 같다. 동일한 시기인 2007년 1월~11월의 개산톤이하 두만강의 3개 단면인 도문(圖們, Tumen), 하동(河東, Hedong) 권하(圈河, Quanhe)의 월별 수질검측 조사결과는 Table 2와 같다.

Table 1. Results of industrial wastewater discharge in chenming paper industry company(2007)

Sampling time	Name of drainage		Discharge flow(ton/day)	COD <sub>Cr</sub> (mg/L)	BOD (mg/L)	Total As (mg/L)	
	date	hr					
1.29	9	Namgu	1293	4868	934	9.840	
			10	1464		2664	8.510
			11	892		2829	9.190
			12	845		1384	4.740
	10	Wastewater plant	866	359	53	0.340	
			10	1232		371	0.404
			11	1127		374	0.106
			12	1664		384	0.07
3.13	9	Namgu	1204	2825	821	0.01	
			10	1050			4306
			11	1102			2781
			12	936			2848
	10	Wastewater plant	709	290	22	0.05	
			10	416			347
			11	744			332
			12	425			364
7.2	11	Wastewater plant	1550	381	16	0.019	
			10	1420			368
			11	1350			365
			12	1357			356
10.25	9	Wastewater plant	1910	333	36.4	0.037	
			10	1668			322
			11	1565			334
			12	1520			365

Table 2. Results of water quality of main station in tumen river(2007)

	Name	Jan.	Feb.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.
COD <sub>mn</sub> (mg/L)	Tumen	229.0	72.7	52.5	135.0	9.1	9.5	12.7	9.7	7.7	8.7
	Hedong	95.2	98.1	26.5	18.2	7.5	10.5	9.7	7.4	6.0	9.0
	Quanhe	46.4	47.6	12.0	8.8	6.9	8.2	8.2	10.1	4.4	6.4
BOD (mg/L)	Tumen	112.0	50.0	31.0	46.0	1.3	1.4	3.1	1.9	2.1	3.3
	Hedong	51.0	79.1	22.0	23.0	1.7	1.6	2.2	1.7	1.0	2.7
	Quanhe	22.0	34.0	4.0	5.4	0.8	2.6	1.8	5.6	1.0	1.7
Total As (mg/L)	Tumen	0.350	0.380	0.070	0.030	0.010	0.010	0.020	0.020	0.010	0.001
	Hedong	0.349	0.380	0.008	0.020	0.005	0.001	0.006	0.010	0.010	0.001
	Quanhe	0.160	0.104	0.101	0.135	0.133	0.072	0.091	0.081	0.089	0.102

**Table 3.** Variation of main pollutants before and after treatment in chenming paper industry company

item	unit	before			after			reduction rate(%)
		max.	min.	avg.	max.	min.	avg.	
Flow	10,000 ton/day	5.63	3.95	4.79	4.04	3.07	3.69	22.9
COD <sub>Cr</sub>	ton/day	94.28	86.43	90.36	13.51	8.87	11.09	87.7
BOD	ton/day	26.75	21.44	24.10	1.45	0.41	0.74	96.9
Total As	kg/day	230.4	0.69	115.56	1.47	0	0.62	99.5

3.2. 개산톤 중점 오염원의 주요 수질오염물질 배출량의 변화

연변환경보호검측점이 검측한 2007년 연변진명종이유한회사의 배출구의 4일 동안의 수치들을 통계 정리하여 계산해 낸 처리 전후의 공업폐수와 COD<sub>Cr</sub>, BOD, 총비소의 최대, 최소, 평균배출량을 Table 3에 나타내었다.

3.2.1. 공업폐수의 배출량

Table 1과 Table 3에서 진명종이유한회사는 처리 전에 두 개의 배출구가 있었고 폐수 배출량은 3.95만톤/일~5.63만톤/일 정도이다. 처리 후에 폐수배출량은 3.07만톤/일~4.04만톤/일 정도로 일평균 배출량은 22.9% 감소되었다.

3.2.2. COD 배출총량의 변화

Table 1에서 보는 바와같이 처리 전 오수처리장을 거친 후 폐수의 COD<sub>Cr</sub> 농도는 290~384 mg/L 범위에 있고 이것은 배출표준에 도달하였다. 그러나 처리를 거치지 않고 직접 배출한 남구 폐수 중에는 COD<sub>Cr</sub> 농도가 1,384~4,868 mg/L 범위이었다. 최고 농도는 제조공업에 대한 배출표준인 400 mg/L의 11.2배이었다. Table 3에서와 같이 연변진명종이유한회사는 처리 전후 COD<sub>Cr</sub>의 배출총량 변화는 매우 컸다. 처리 전에는 2개 배출구로 COD<sub>Cr</sub>를 86.43~94.28톤/일(평균 90.3톤/일)로 배출하였고, 처리 후에는 COD<sub>Cr</sub> 배출량은 8.87~13.51톤/일(평균 11.09톤/일)로 배출하여 일평균배출량은 87.7% 감소되었다.

3.2.3. BOD 배출총량의 변화

Table 1에서 처리 전 오수처리장을 거친 후 배출한 폐수의 BOD 농도는 22~53 mg/L로서 배출표준에 도달하였지만 처리를 거치지 않고 직접 배출한 남구 폐수 중 BOD 농도는 821~934 mg/L이었다. 최고 농도일 때는 제조공업에 대한 배출표준 70 mg/L의 12.3배이었다. Table 3에서와 같이 진명종이유한회사의 처리 전후 BOD 배출량의 변화는 매우 컸다. 처리 전에는 두 개의 배출구를 통하여 배출한 BOD량은 21.44~26.75톤/일이었다고 처리 후 배출한 BOD량은 0.41~1.45톤/일이었다. 일평균배출량은 처리 전 24.10톤에서 처리 후 0.74톤으로 96.9%가 대폭 감소되었다.

3.2.4. 총비소 배출총량의 변화

Table 1에서 처리 전 오수처리장 처리를 거친 후 배출한

폐수 중의 총비소 농도는 0.05~0.404 mg/L으로 배출표준에 도달하였다. 그러나 처리를 거치지 않고 직접 배출한 남구 폐수 중의 총비소 농도는 0.01~9.84 mg/L로 그 최고 농도는 배출표준 0.5 mg/L의 18.7배이었다. Table 3에서와 같이 진명종이유한회사의 처리 전후의 비소총량의 변화는 매우 컸다. 처리 전에는 2개의 배출구를 통하여 배출하는 량은 0.69~230.4 kg/일 범위에 있었다. 처리 후 총비소 배출량은 0.65~1.47 kg/일이었다. 일평균배출량은 처리 전 115.56 kg에서 처리 후 0.62 kg으로 99.5% 감소되었다.

상기 결과로부터 본다면 7월과 10월의 검측결과 폐수배출량과 COD<sub>Cr</sub>, BOD, 총비소의 배출량은 1월과 3월에 비해 크게 줄어들었다. 이것은 진명종이유한회사가 기술개조를 거쳐 7월부터 오수배출량을 감소시켰기 때문이다. 기술개조를 거쳐 진명종이유한회사는 감소 배출의 목표에 도달하였으며 이것은 두만강의 수질을 개선하는데 크게 영향을 미치고 있었다.

3.3. 두만강 중점 오염지점의 수질변화

3.3.1. 2007년 수질변화

진명종이유한회사의 수질오염물질의 대폭적인 감소가 두만강의 수질개선은 적극적인 영향을 주었다. 두만강에서 크게 오염된 단면이 2007년 검측수치에서 볼 수 있는 바와 같이 COD, BOD, 총비소와 같은 주요오염지표의 농도가 6월부터 시작하여 뚜렷하게 감소되었다. 두만강 본류 수질측정지점인 도문, 하동, 권하의 지표수 표준은 각각 3급, 4급, 3급이다. 여기서 3급은 COD 6 mg/L 이하, BOD 4 mg/L 이하이고 4급 기준은 COD 8 mg/L 이하, BOD 6 mg/L 이하이다.<sup>5)</sup> Table 2에서 보는 바와 같이 도문은 COD의 경우 3급(6 mg/L 이하)을 만족하지 못하였으나 BOD의 경우 3 mg/L 이하 수준으로 3급(4 mg/L 이하)을 거의 만족하였다. 하동은 COD의 경우 4급(8 mg/L 이하)을 부분적으로 만족하였고, BOD의 경우 3 mg/L 이하로 4급(6 mg/L 이하)을 충분히 만족하였다. 종합적으로 볼 때 도문, 하동 지점의 수질은 1995년 BOD 기준으로 4급을 만족하지 못하여 공업용수로 어려운 실정이었는데 현재 지면수 환경표준 4급을 거의 만족하는 수준으로 개선되었다고 볼 수 있다.

도문단면은 개산톤진 주요오염원 방류구로부터 36 km 이하에 위치해 있다. 두만강 개산톤에서부터 도문의 수질이 오염되는 것은 진명종이유한회사가 공업폐수를 배출에 기인한다. 그러므로 도문단면의 수질변화는 직접적으로 개산톤 중점오염원의 수질오염물질의 감소배출효과를 잘 반영하고 있다고 할 수 있다.

수질항목별 개선 효과는 다음과 같다.

COD : 2007년 1~5월에 도문단면의 COD농도는 52.5~229.0 mg/L 범위에 있었고 평균농도는 122.3 mg/L이었다. 최고치는 지표수환경질량<sup>2)</sup> 3급표준(6 mg/L 이하)의 38.2배이었다. 6~11월 사이의 COD농도는 7.7~12.7 mg/L이었으며, 평균농도는 9.7 mg/L로 감소되었다. 이것은 처리 전인 1~5월의 평균농도보다 92% 감소되었다.

**Table 4.** Comparison of water quality of tumen station in Tumen river(2007)

item	Jan. ~ May. (average)	Jun. ~ Jul. (average)	Water quality reduction rate(%)
COD <sub>mn</sub> (mg/L)	122.3	9.7	92.1
BOD(mg/L)	59.8	2.2	96.4
Tatal As(mg/L)	0.207	0.011	94.7

BOD : 2007년 1~5월에 도문단면의 BOD농도는 31.0~112.0 mg/L 범위에 있었고 평균농도는 59.8 mg/L이었다. 최고치는 지표수환경질량 3급 표준(4 mg/L 이하)의 28배 이었다. 6~11월 사이 BOD농도는 1.3~3.3 mg/L로 줄어들어 지표수환경질량 3급 표준에 도달되었다. 평균농도는 처리 후에 2.18 mg/L로 되었는데 처리 전인 1~5월의 평균농도보다 96% 감소되었다.

총비소 : 2007년 1~5월에 도문단면의 총비소농도는 0.03~0.38 mg/L사이에 있었고 평균농도는 0.207 mg/L이었다. 6~11월 사이에 총비소농도는 0.001~0.02 mg/L로 감소되었고 평균농도는 0.011 mg/L로 되었으며 처리 전인 1~5월의 평균농도보다 95% 감소되었다. 두만강 도문단면에서 처리 전후 수질변화는 Table 4와 같이 요약할 수 있다.

3.3.2. 동절기 수질변화의 비교

매년의 1월, 2월은 두만강 유량이 제일 적은 계절이고, 환경용량이 제일 작은 시기이다. 만약 개산톤 중점오염원의 수질오염물질의 배출량이 변화하지 않는다면 도문단면의 하류는 1월, 2월에 물오염이 제일 심각하다. 더욱 직접적으로 개산톤 중점오염원의 감소가 두만강 수질에 대한 영향을 설명하기 위하여 연변환경보호검측점의 최근 검측결과 중에서 2007년과 2008년 1월, 2월의 COD, BOD, DO의 실제 측정자료를 Table 5에 나타내었다.

Table 5에서 동절기 처리 전 COD, BOD 농도가 매우 높았고 수중의 DO농도는 매우 낮았으나 COD, BOD 농도는 처리 전에 비해 최소한 각각 82.1%, 86.0% 이상 감소되었다. 또한 수중의 DO가 뚜렷하게 증가되었다.

3.4. 개산톤 중점 오염원 배출량의 변화

진명중이유한회사는 1985년에서 2007년 연변조선족자치주환경보호국의 통계자료에 의하면 1985년 공업폐수 배출

**Table 5.** Variation of water quality of tumen station at winter season

item	January			February		
	2007	2008	reduction rate(%)	2007	2008	reduction rate(%)
COD <sub>mn</sub> (mg/L)	229.0	15.0	93.4	72.7	13.0	82.1
BOD (mg/L)	112.0	2.0	98.2	50.0	7.0	86.0
DO(mg/L)	0.80	6.20	----	2.13	4.90	----

**Table 6.** Industrial wastewater flow and COD load from kaisantun main pollution source

Year	Wastewater discharge flow (10,000 ton/year)	COD <sub>Cr</sub> load mass (ton/year)
1985	3480	80398
1990	2987	70560
1995	2909	60205
2000	2940	69798
2005	1581	29819
2007	1383	15550

량은 3,480만 톤이고, COD<sub>Cr</sub> 배출량은 80,398톤에 다달았고, 일 배출량은 2007년 7월 이후의 배출량의 22배에 달하였다.<sup>6)</sup> 최근 몇 년이래 개산톤화학섬유공장은 처리를 거치지 않고 공업폐수를 대량적으로 두만강에 배출하여 두만강의 수질을 심각하게 오염시켰고 이것은 두만강의 오염을 일으킨 중요한 원인이었다. 최근 년도별 개산톤의 중점오염원 공업폐수량 및 COD<sub>Cr</sub> 배출량의 결과는 Table 6과 같다.

2007년 이후 두만강 수질검측 결과로부터 알 수 있듯이 전반기 두만강 수질오염이 매우 심각하였고 수중의 COD, BOD 등의 농도가 표준수치의 몇 배에서 몇 십 배를 초과하였다. 더욱이 겨울이 되면 용해산소량은 0에 가까웠다. 그러나 후반기에 이르러서 두만강의 수질은 일부 시료에서 COD 표준에 초과되는 현상을 제외하고는 뚜렷하게 좋아졌다. 2008년 도문단면 검측결과에 의하면 동절기 1월, 2월에 DO농도는 각각 6.2 mg/L, 4.9 mg/L로서 중국의 수질환경질량표준 3급인 5.0 mg/L에 거의 접근하였다. 이런 수치들은 연변진명중이유한회사의 오염물 배출의 감소가 두만강 수질에 대하여 뚜렷하게 개선 역할을 했다는 것을 알 수 있었다.

대한환경공학회지 2002년 9월호에 두만강의 수질현황과 전망에서 언급하였듯이 두만강의 본류의 수질오염원은 도문시의 석현중이공장폐수, 개산톤펄프공장폐수, 연길, 용정, 도문시 등에서 배출하는 도시오수와 분뇨에서 기인하고 있다.<sup>7)</sup> 수질개선을 위해 2007년 이후 개산톤펄프공장폐수처리의 획기적인 개선과 2004년 이후 석현중이공장폐수처리의 개선, 2007년 연길시 오수처리장의 건설(시설용량 10만톤/일) 등이 연변조선족자치주의 환경보호계획에 따라 추진되어 두만강 수질이 지속적으로 향상되고 있다.<sup>8,9)</sup>

반면에 북한 경제사정의 어려움으로 최근 무산철광은 중국의 철광석을 수입하여 가공하기 위한 조업을 시작함으로써 처리없이 배출하는 세정폐수에 의한 부유물질이 두만강을 육안으로 보아도 시커먼 정도로 오염시키고 있으며, 이 경우 중국 농업관개수질표준<sup>10)</sup>인 부유물질(150 mg/L 이하)을 상당히 초과하고 있는 실정이다. 한편 중국 국가 지표수환경질량표준에 부유물질에 대한 기준이 없는 것이 특징인데, 향후 두만강 수질관리와 평가를 위해 추가해야 할 수질항목으로 사려된다.

## 4. 결 론

개산톤에 위치해 있는 연변진명종이유한회사(개산톤화학 섬유종이공장)는 두만강을 오염시키는 주요염원 중의 하나이다. 오랫동안 이 회사는 두만강을 심각히 오염시켰고 그 중 COD에 의한 오염이 매우 심각하였다. 1895년부터 2007년 전반기의 주요오염물질의 배출 수치로부터 알 수 있듯이 COD 지표는 심각하게 표준을 초과하였다. 그러나 2007년 두만강의 오염구간 검측수치분석에 의하면 6월부터 연변진명종이유한회사의 각종 기술개조, 획기적인 오염물질의 감소배출을 통하여 실제적으로 표준에 도달한 배출을 실시하였다.

두만강 본류의 도문, 하동단면의 DO, BOD, 총비소량 등 항목은 국가 지표수환경질량표준 3급에 비해 모두 100% 요구에 도달되었으며, COD항목은 아직 표준에 도달하지는 못하였으나 향후 거의 도달할 것으로 예상된다. 중점 오염원인 연변진명종이유한회사의 오염물질 감소배출은 두만강의 수질개선에 적극적인 역할을 기여하였다.

## 참 고 문 헌

1. 연변통계연감, 길림인민출판사(2007).
2. 연길통계연감, 중국통계출판사(2007).
3. 두만강수계오염 및 수자원보호적연구, 길림성과학기술위원회, 길림성환경보호국(1980).
4. 국가환경보호총국, 물과폐수검측분석방법(제4판), 중국환경과학출판사(2002).
5. 국가환경보호총국, 국가질량감독검사검면총국, 지표수환경질량표준(GB 3838-2002), p.2(2002).
6. 연변조선족자치주환경보호국, 내부자료.
7. 임봉수, 신형철, “두만강 수질현황과 전망,” 대한환경공학회지, **22**(9), 1733~1743(2000).
8. Shen, H. Z., Chi, Z. J., and Jin, S. Z., “Current Status and Future Trends of the Water Quality of the Tumen River Watershed,” in *Proceedings of the 1st Yanbian University of Science and Technology Symposium of the Industrial Technology*, pp. 182~186(1999).
9. 연변조선족자치주환경보호국, 연변조선족자치주환경보호 “10·5” 계획 및 2010년 원경규획(2000).
10. 국가환경보호총국, 국가질량감독검사검면총국, 농업관개 수질표준(GB 5084-92), (1992).