

洛東江의 富營養化 現狀과 그 影響

宋 敎 旭
東南開發研究院

1. 序 論

水利用의 급증에 따라 用水의 需要量은 河川 供給量을 상회하게 되었고 이와 함께 하천으로 유입되는 下水와 産業廢水量이 대폭 증가함에 따라 汚染負荷量이 급증하게 되어 전국각지의 河川이나 湖沼에서는 流入排水의 영향에 의해 水域生態系에 이상현상이 발생하고 있다. 그 중에서도 藻類의 이상증식으로 인한 水系의 富營養化 현상이 심각해짐에 따라 이들 水域을 각종 用水源으로 이용하고 있는 지역주민들에게 큰 악영향을 초래하고 있다.

富營養化 현상은 원래 湖沼學에서 인식되었던 湖沼 生態系의 점진적인 변화로서 생산성이 낮은 湖가 높은 湖로 변이되어 가는 현상으로 陸水學 즉, 湖沼에서 적용되어 왔지만 최근에는 유속이 느린 自然河川(江)에서도 적용되므로 강으로 유입되는 營養鹽負荷量은 강 자체에 중요한 영향을 미치게 된다. 즉 최상류로부터 유하함에 따라 溶存物質이 하류방향으로 증가하고, 온도도 높아져 藻類의 생산성을 지속시키기 때문에 水體生産性 조절은 각 流入支川의 농도에 의존하게 된다.

本 研究對象인 洛東江은 강원도 태백시 황지류에서 發源하여 洛東江 하구둑에 이르는 동안의 총 流路延長이 525km에 달하는 우리나라 최대의 강으로 그 流域面積은 23,817km²로 전 국토의 24.1%를 차지하고 있으며 이 流域圈 내에서 각종 生活·農工用水를 이용하고 있는 천만 인구의 젖줄로 이용되고 있다. 그러나 최근 인구의 都市集中化와 內陸地方의 대규모 工團造成으로 인하여 下·廢水의 발생량은 증가하고 있으나 적절한 관리도 하지 못한채 그대로 방류되고 있으며 특히 洛東江 水系의 3000여 工場에서 발생되는 50만 ton/d의 각종 工團廢水에 함유되어 있는 難分解性 有害物質과 경작지의 과다한 농약 및 비료사용으로 인한 毒性物質의 유입으로 用水 및 上水源에 대한 危害를 증가시키고 있는 실정이다. 더우기 洛東江 하구둑의 완공으로 인한 流速의 감속으로 汚染物質의 沈澱에 따른 底質汚染 등 水質 및 底質의 악화가 가속화되어 이러한 영향으로 洛東江水質은 이미 上水源水 3급水質을 초과할 뿐만 아니라 農·工用水로도 사용하기 어려울 정도로 이르렀으며 營養狀態도 富營養化 단계를 훨씬 초과한 실정이다. 水系가 富營養化되어 가장 큰 피해를 받는 것 중의 하나는 富營養化된 水系로부터 取水하고 있는 水道事業으로 그 피해로는 前驅素처리시 發癌性物質인 THM(Trihalomethane)의 생성, 藻類의 代謝·分解產物과 藻類生成에 따른 pH 상승으로 凝集作用 저해에 의한 다량의 殺藻劑 및 凝集劑 투여, 濾過池나 스크린의 폐쇄, 글로로아민화합물의 생성에 의한 소독효과 저해 및 메트헤모글로빈의 생성 등으로 上水處理 비용의 증가와 시민의 건강피해의 위험성을 증가시키고 있으므로 富營養化現狀을 방지하기 위한 研究가 절실히 요구되는 실정이다.

하천에서 富營養化를 일으키는 가장 중요한 인자는 水系로 유입되는 無機營養鹽類로서, 藻類는 적절한 環境條件하에서 이들 營養鹽類를 이용하여 과잉증식을 일으키기 때문에 하천 水系의 富營養化를 방지하기 위해서 이들 營養鹽類와 藻類의 관계를 究明하여 水質管理 계획을 수립하여야 한다.

2. 富營養化가 미치는 影響

湖沼 이외의 타 淡水水域(貯水池나 河川)이나 內灣 등에 있어서도 인간활동에 기인한 營養鹽의 공급증가로 湖沼와 마찬가지로 동일한 藻類의 異常增殖과 그에 따른 水域生態系의 급격한 변화를 초래, 여러 악영향을 인간생활에 미치게 된다.

富營養化가 진행된 水域에서 대량발생하고 “水華”를 형성하는 淡水赤潮는 각종 供給用水, 漁業活動, 레크레이션 활동 등 水利用상에 많은 문제를 일으키고 있다.

淡水赤潮를 발생시키는 주藻類種이 藍藻類인데 이들 중 *Microcystis aeruginosa*, *Anaena flos-aquae*, *Aphaniz-omenon flos-aquae*의 毒性이 水道水를 통하여 公衆衛生상의 문제로 되거나 放牧중의 家畜이나, 野生藻類 등이 이 물을 마시고 사망한 원인이 되고 있고 또한 灌溉用水로서의 문제 때문에 이들에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. Himber 등

(1989)은 魚類의 대량사멸하는 이유로 그 毒性和 함께 藻類가 死滅하여 분해될 때 생성되는 hydroxylamine 이나 H₂S에 의한 것과 또는 溶存酸素 결핍에 의한 것 등을 보고하였고, Schwinmer등(1964)은 미국 대륙의 淡水産 藻類의 家畜이나 사람에게 미치는 영향을 조사하여 보고한 바 있다. Billings(1980)은 펜실바니아주 Wallenpanpack호에서 수영한 사람들의 귀의 통증, 吐氣, 口吐, 下痢, 눈가렵증, 목부음증 등을 수반한 水華에 의한 사람의 피해를 보고하였다.

Uroglena americana 대발생에 의해 생긴 일본의 琵琶湖 赤潮는 주변주민의 생활이나 산업에 영향을 끼쳤지만 제일 큰 문제를 야기시킨 것이 上水道로의 영향이었는데 1300만 인구의 食水로서 공급되고 있는 淨水場 濾過裝置의 閉鎖現狀과, 불쾌한 惡臭의 발생이었다.

藻類는 水溫이 상승하기 시작하는 5-6월경에 大量增殖하고 微量일 때도 異常惡臭를 발생시키는 것도 있어 오늘날 수도 惡臭問題의 주 원인으로 되어있다. 이 냄새는 비린내 냄새로 악취는 통상의 淨水處理 과정에서 제거되지 않는다. 일본의 厚生省 에서는 1983년도 부터 惡臭味 피해인구, 피해사업체수에 조사를 행하였는데 이들 수는 장기적으로 증가하였고 특히 1990년에는 대규모의 濁水期 영향도 있어 조사개시 이래 피해인구가 2000만 명에 이르게 되었다.

이처럼 富營養化로 인한 영향이 水利用상의 여러 障害를 초래하고 있지만 가장 큰 피해를 받는 것이 바로 富營養化된 水系로 부터 取水하고 있는 水道事業으로 그 피해로는 前鹽素처리시 發癌性物質인 THM(Trihalomethane)의 생성, 藻類의 代謝·分解産物과 藻類生成에 따른 pH 상승으로 凝集作用 저해에 의한 다량의 殺藻劑 및 凝集劑 투여, 濾過池나 스크린의 閉鎖, 클로로아민화합물의 생성에 의한 消毒效果 阻害 및 메트헤모글로빈의 생성 등으로 上水處理 비용의 증가와 시민의 건강피해의 위험성을 증가시키고 있으므로 무엇보다도 먼저 飲用水로서의 안정성을 확보하지 않으면 안된다.

3. 落東江의 富營養化 現況

1) BOD와 COD

水質汚染의 指標로서 水中 溶存酸素를 소모하는 有機汚染物質의 간접지표인 BOD와 COD로서 부산시 上水源水 取水場인 물금지역의 원수 수질변화 추이를 살펴보면 <표 1> 과 같이, 86년 부터 92년 까지의 평균농도는 BOD의 경우 3.3-3.9ppm, COD의 경우 2.7-5.0ppm으로 上水源水 3급수 水質基準에 해당되었다. 그러나 COD의 경우 점점 증가 추세에 있을 뿐만 아니라 최고값은 90년 이후 6ppm을 상회하여 上水源水 3급수를 초과하기에 이르렀으며 특히 92년의 경우는 上水源水는 물론이거니와 農·工用水로도 사용할 수 없는 실정에 이르렀다.

<표 1> 물금지역의 源水水質중 BOD와 COD의 年變化

(단위 : ppm)

區 分		86	87	88	89	90	91	92
BOD	最高	4.1	4.8	5.1	5.0	4.2	5.6	5.5
	平均	3.5	3.3	3.9	3.8	3.3	3.4	3.4
COD	最高	4.1	4.4	7.2	5.9	5.3	6.5	9.2
	平均	3.2	2.7	3.5	4.7	3.9	4.4	5.0

자료: 부산시상수도본부, 경북 달성군 위천공단 조성관련 지취보고, 1992

89년 이전까지 BOD와 COD의 농도는 비슷한 값을 유지하였으나 89년 이후 COD는 BOD에 비해 점점 증가 추세에 있으며, 또한 최고값과 평균값의 차이도 뚜렷이 증가하는 현상을 보이고 있는데 이처럼 증가된 COD는 외부에서 유입된 窒素와 燐에 의해 富營養化가 진행되어 식물성플랑크톤에 의한 自生性 有機物質에 의한 것인데 이를 自生性 COD라 한다.

BOD와 COD는 모두 有機物質의 汚染程度를 나타내는 指標이지만 분석방법의 차이로 같은 有機物質인 BOD 측정법으로는 측정되지 않고 COD 측정법으로 측정된다. 그래서 富營養化로 인하여 식물성플랑크톤이 많이 발생할 가능성이 있는 湖昭의 경우는 有機汚染指標로서 COD를 사용하고 있다. 그러나 洛東江의 경우 하천임에도 불구하고 湖昭보다 높은 富營養化가 진행되어 식물성플랑크톤이 대량 발생하기 때문에 1991년 이후 河川水質基準에서 삭제되어 있는 COD를 반드시 첨가 시켜야 한다. 下·廢水에서 유입된 有機汚染物質의 농도가 높아도 上水源水로 사용할 수 없지만 自生된 有機汚染物質의 농도가 높아도 上水源水로는 사용할 수 없다.

2) 富營養化의 判定

營養度의 개념은 Naumann 과 Thienemann(1984)의 연구에서 처음 시작되는데 이들은 湖水에 따라 식물성플랑크톤양이 뚜렷하게 차이가 있다는 데 착안하여 이들 생산성을 지배하는 인자를 營養鹽濃度, 水色, 透明度, 沈水層 酸素濃度, 底棲動物 등으로 貧營養, 中營養, 富營養의 세 營養度로 대별하였다.

그 후 富營養化를 제어하기 위해서는 유입하는 磷의량을 규제하는 것이 가장 적절한 방법이라는 것이 Vollenwider(1976), Rast등(1983)에 의해 밝혀졌으나 水中의 富營養化 상태를 정확히 아는 것도 상당히 중요한 과제이다. 여태까지 富營養化 상태를 파악하기 위해 Sakamoto(1966), Porcella등(1980), Forgsberg 와 Ryding(1981) 및 Lee(1982)등은 주로 水系內的 透明度, Chl.a, 總磷 등의 값으로 貧, 中, 富營養段階 범위를 구분하였는데 이들 연구결과 대체로 透明度값이 2~4m, 總磷농도가 10 - 25 mg/m³, Chl.a 농도가 3.0 - 15 mg/m³을 나타내는 값을 中營養狀態로 구분하고 있다.

相崎등(1987)의 수정 Carlson식을 이용하여, 각 지점별 월별의 Chl.a와 透明度 및 T-P 값으로 營養狀態指數를 나타낸 결과는 <표 2>와 같다.

<표 2> 洛東江 中·下流系 本流水의 修正營養狀態指數

월/일	지 점	RTSI(Chl.a)*1	RTSI(透明度)*2	RTSI(總磷)*3
5/23 24	물	56.46 (18.53)	64.87(1.0)	62.52(60)
	삼	70.60 (67.71)	72.59(0.6)	66.13(80)
	랑	69.39 (60.58)	80.17(0.4)	72.22(130)
	남	62.20 (31.34)	80.17(0.4)	71.22(120)
	적	66.06 (44.66)	70.83(0.7)	74.02(150)
6/23 24	고	53.24 (13.80)	57.02(1.6)	53.82(30)
	왜	63.77 (36.19)	68.60(0.8)	74.02(150)
	물	75.20(103.13)	80.17(0.4)	74.83(160)
	삼	77.38(126.01)	80.17(0.4)	76.31(180)
	랑	77.21(124.09)	80.17(0.4)	77.63(200)
8/20 21	남	74.99(101.19)	76.45(0.5)	85.01(360)
	적	69.27 (59.91)	59.25(1.4)	70.13(110)
	고	61.77 (30.14)	70.83(0.7)	66.13(80)
	왜	62.35 (31.78)	68.60(0.8)	66.13(80)
	물	64.56 (38.93)	68.60(0.8)	66.13(80)
8/20 21	삼	65.79 (43.67)	68.60(0.8)	66.13(80)
	랑	64.49 (38.66)	76.45(0.5)	74.03(160)
	남	61.03 (28.17)	68.60(0.8)	60.23(50)
	적			
	고			

주 : RTSI(Revised Trophic Index : 修正營養狀態指數)

(): 농도 *1:mg/m³ *2 :m *3 :mg/m³

이들 값을 여러 연구가들에 의해 제시된 營養段階 구분법에 따라 營養狀態指數로서 營養狀態를 산정한 결과 RTSI(Chl)에 의한 指數는 53.24 - 77.38, RTSI(SD)에 의한 指數는 57.02 - 80.17의 범위, RTSI(TP)에 의한 指數는 53.82 - 85.01의 범위로 富營養 및 過營養段階에 있었으며 특히 6월의 경우는 전 항목에 걸쳐 過營養段階를 나타내었다.

이들값은 長(1987)이 조사한 대청호의 43~55, 相崎등(1987)이 일본호수를 대상으로 조사한 7~72의 營養狀態指數와 비교해 볼 때 정체된 호수의 경우가 아닌 一定流速을 가진 하천임에도 불구하고 이들값보다 훨씬 높게 나타났다.

3) 上水處理 藥品使用現況

부산시 上水道의 既存水源은 洛東江 本流와 회동저수지 및 범기저수지의 3개소로, 이중 洛東江 源水의 取水量은 2080천톤/일로 전체 取水量의 약 93%를 차지하고 있는데, 최근 洛東江 源水의 水質汚染 악화현상으로 인하여 각 淨水場에서는 凝集劑와 殺藻劑 등 다량의 약품사용과 오존처리 및 입상활성탄여과 등 高度淨水를 위해 막대한 上水處理費를 투자하고 있는 실정이다. 특히 富營養化와 관련하여 <표 3>과 같이 사전에 藻類를 死滅시켜 取水場 濾過池의 閉鎖와 냄새를 방지하고 浮遊生物의 凝集沈澱을 양호하게 하기 위하여 황산동과 염소 및 이산화염소와 같은 殺藻劑를 다량 살포하고 있다.

현재 淨水處理 공법상에서 前處理로서 살포하고 있는 殺藻劑의 양은 당해연도의 上水生産量, 대상물질인 藻類의 種과 發生量 및 發生期間에 따라 차이가 있겠지만 매년 증가 추세에 있을 뿐만 아니라 89년 대비 91년의 上水生産量과 殺藻劑 사용량의 추이를 살펴 보면 上水生産量은 503,495천톤에서 576,386천톤으로 약 14.6%가 증가한 반면 殺藻劑의 사용량은 122톤에서 336톤으로 무려 175%나 증가하였는데 특히 이 殺藻劑는 藻類의 대량 번식기인 하계절에 주로 살포하는 현실을 감안할 때 洛東江의 富營養化 현상은 심각한 문제가 아닐 수 없다.

<표 3> 釜山市의 上水 生産量과 殺藻劑 使用量 推移

年 度		1989	1990	1991
上水生産量(천톤)		503,495	554,279	576,368
殺藻劑 使用 量 (kg)	合 計	149,941	252,434	377,506
	黃 酸 銅	25,213	8,741	25,620
	鹽 素	2,474	5,686	16,288
	二酸化鹽素	122,254	238,007	335,598

자료: 부산시 상수도본부, 월별정수약품사용현황, 1989-1991

4. 對 策

1) 洛東江 圏域 管理委員會 構成

○ 複數의 自治體에 걸쳐있는 河川流域이 존재하고 있다면 그것이 廣域汚染의 무대로 된다. 우리나라에서도 이러한 종류의 河川이 많지만 그 중에서도 가장 중요한 것은 대도시 주변에서 飲用水의 水源으로서도 이용되고 있는 河川이다. 그 전형적인 것이 바로 洛東江水系이다.

○ 그러나 流域이 다수의 行政區域으로 분할되어 있고 環境整備事業 등이 行政體 단위로 수행되고 있기 때문에 廣域의 綜合水質管理를 실시하는 것은 어려운 실정이다. 흐름의 방향이 일정한 河川의 경우에는 上流의 發生源에서의 효과적인 負荷量 削減이 水質改善에 필요한 것이나, 직접적으로는 水質汚染의 영향을 받지않는 상류측에서의 대응은 피해를 입고있는 하류측의 입장만큼 급하지 않다.

○ 따라서 上流와 下流에 위치하는 자치체간의 水質汚染문제 해결에는 行政區域의 차이를 초월한 流域 전체로서 파악하는 방법이 보다 필요하므로 多元化되어있는 行政體制를 一元化시키고 流域圏에서 발생하는 모든 문제를 이러한 圏域管理委員會에서 審議, 決定 및 計劃樹立할 수 있도록 정부의 확고한 법적 조치가 한시바빠 선행되는 것이 洛東江 水質改善의 지름길이 아닌가 싶다.

2) 汚染負荷量 削減對策

○ 우리나라의 下水處理은 2차處理에 국한되어 있으므로 BOD는 어느정도 저감시킬 수 있으나 유기물질의 저감, 즉 유기물 분해에 따른 植物無機營養鹽類(무기태 窒素나 磷)가 상대적으로 증가하여 하천으로 유입되고 있기 때문에 현재의 2차처리에 국한된 下水處理場을 완벽하게 정비한다 하더라도 낙동강이 안고 있는 가장 큰 문제점인 富營養化 현상은 더욱 심화될 것으로 예측된다. 따라서 장래 落東江의 수질변화를 예측하여 下水處理場 설치계획시에는 水系에서 일어날 수 있는 모든 변화를 사전에 면밀한 분석과 Modeling 기법을 통해 예측한뒤 각각의 汚染負荷量 削減計劃을 검토한 후 그에 대응할 수 있는 下水處理場을 건설해야 할 것이다. 그렇지 않고 현재의 BOD만을 고려한 막대한 施設投資는 향후 무용지물이 될수밖에 없을것으로 판단된다.

3) 公害誘發業體 移轉

○ 落東江 中上流地域에 1970년도 이후부터 大邱와 龜尾地域에 대단위 工業團地가 조성되고 1980년도 이후에는 慶北 達成郡에 玄風工團과 論工團, 渭川工團이 조성되는 등 각종 대단위 工團이 조성되어 있다.

○ 大邱 및 慶北地域 工業團地 조성현황을 보면 染色工團에 111개업체, 제3공단에 171개업체, 西大邱工團에 355개업체, 검단공단에 31개업체, 城西工團에 481개업체가 입주해 있다. 龜尾地區에는 제1, 제2, 제3단지를 모두 합해서 336여개 업체가 입주해 있다.

○ 落東江 中·上流水系에 산재한 공단들은 纖維·染色産業이 주류를 이루고 있다. 纖維·染色産業은 다른 산업에 비하여 엄청난 用水를 필요로 하는 用水型 産業이다. 더우기 여기서 발생하는 일반적인 배수성상으로서의 섬유부착물, 사용약제에서 유래하는 유기물이 다량 함유되어 있어 COD, BOD, SS가 높으며 특히 공정시 사용되는 전분을 제외한 대부분이 생물학적으로 분해 불가능한 난분해성 물질이므로 BOD보다는 상당히 높은 COD값을 나타낸다. 공장에 따라서는 染料 등의 藥劑에서 유래하는 重金屬類, 페놀類가 함유되어 있다. 또 窒素, 磷을 다량 함유한 藥劑, 界面活性劑, 染料溶解劑 등에 의한 汚染物質과 染料에 의한 색깔 등이 문제시 되는 처리하기 힘든 有害廢水이다.

○ 국가 産業經濟發展도 중요하고 國民食水源 확보도 중요하다. 工場立地는 食水源 부근이 아닌 다른 입지로의 선택이 가능하지만 落東江과 같은 食水源을 한번 잃어버리면 다른 곳에서 구할 수가 없다. 落東江 流域에 工團을 증설할 때는 惡性廢水を 배출하지 않는 無公害 업체만을 엄선할 것이며 기존의 公害業體는 落東江과 그의 食水源이 되는 水系의 유역밖으로 이전 집단화 시키겠다는 방침이 재정립되어야 한다.

4) 下水管渠施設 整備

○ 落東江 水系에서 발생하는 汚染負荷量의 80%이상이 가정하수이란 점을 감안할 때 水質改善 方案의 첫 목표가 바로 下水管網의 교체를 들 수 있겠다. 따라서 下水終末處理場의 設置費와 運營費, 施設維持費를 감안해 볼 때 현재의 下水管渠를 分流式으로 교체할 中·長期計劃이 수립되어야 하며 이와 함께 下水管路의 延長을 줄이고 下水管路의 연결도 용이하게 할 뿐만 아니라 河川流域 곳곳에서 처리할 수 있는 소규모 하수처리장을 설치하도록 下水道 整備計劃을 수정할 필요가 있다.

○ 또한 장기적 목표로서 落東江 本流로 유입되는 각 支流의 都心河川에 대해서도 水質環境基準의 목표연도를 설정하여 水質環境 基準의 유지달성과 富營養化를 방지하고 處理水를 재이용 할 수 있도록 下水處理 자체도, 종래의 2차 處理施設은 부적당하므로 3차 처리를 포함한 下水의 高度處理가 필요하다.

5) 水質基準改善

○ 公共用水域 등의 水質保全對策과 水道문제의 관계로서 水道는 公共用水域 등의 중요한 利水目的의 하나이므로 環境基準도 飲用水水質基準을 고려하여 결정해야 한다. 富營養化와 관련한 窒素와 磷 및 '91년부터 삭제되어 있는 COD항목을 河川水質環境基準에 첨가시켜야 하며, '96년부터 시행될 배출수의 질소와 인의 농도(窒素:60ppm, 磷:8ppm)基準이 터무니 없이 높게 설정되어 있으므로 富營養化의 改善對策을 위한 효율적인 법적기준이 마련되어야 한다.