

한강수계의 주요 오염원별 부하량 비교분석

Comparative Study on Loading Rate of Main Pollution Sources in Han-River

강성환** 구본수** 임재명*
Kang, Sung-Hwan Koo, Bon-Soo Rim, Jay-Myoung

ABSTRACT

The purposes of this research were constructed the database, based on graphing the present water pollution in Han-river due to livestock wastewater(LSW). The LSW was below 1% in respect to quantity but about 7% in respect to pollutants loading in overall Han-river. The ratio of untreated LSW is 18% to 28%, which was higher compared to the municipal and industrial wastewater. In other words, LSW was about 0.05 times of municipal wastewater in respects to quantity but 2 times in respect to the ratio of untreated wastewater. So, it was necessary for treating LSW. The pollutants loading due to livestock wastewater of the South Han-river, North Han-river and main stream were 19.7%, 19.4% and 4.0%, respectively. This was about 7% in overall Han-river. We separated the Han-river into upper, mid and down stream. As a result, we found that the livestock wastewater is the main water pollution source of upper Han-river.

키워드 : 한강수계, 오염부하량, 축산폐수

Keywords : Han-river, pollutants loading, livestock wastewater

1. 서 론

우리나라 축산업의 발전양상은 국민의 식생활 패턴 변화로 인한 우유 및 육류소비량의 증가[1, 2]와 농·수산물 수입개방에 대비한 농업부문으로의 축산업이 적극 권장[3]되면서 축산업 규모가 점차 대형화, 기업화되고 있는 실정이다.

축산업의 발전초기에는 축산분뇨를 농작물 재배용 비료로 사용하였으나, 축산업의 기업화가 이루어지기 시작한 '70년대 이후부터는 화학비료의 사용과 농촌의 인력부족에 기인하여 유기질 비료로서 절대적 활용 가치가 있는 축산분뇨가 폐기물화 되고 있다[4, 5].

축산분뇨는 고농도의 유기물을 함유하고 있어 자원

화에 유리한 점을 지니고 있으나, 미처리된 상태로 수계에 유입되면 하천의 수질악화와 호소의 부영양화를 초래하여 용수의 질적 저하를 가져온다. 뿐만 아니라 축산분뇨가 무단 폐기될 경우 토양오염 및 지하수 오염을 초래하여 악취 및 위생해충의 번식으로 전반적인 생활환경을 악화시키게 된다. 또한 가축분뇨에 의해 오염된 농업용수의 사용은 농작물의 수확량을 감소시키고, 농촌 사회환경 및 경제에 악영향을 초래하게 된다.

이에 '80년대 환경청이 발족되면서 정부에서는 소, 돼지의 사육두수와 규모에 따라 폐수정화시설을 설치하도록 하였으며, 사육두수의 증가 및 농장의 기업화에 따라 그 오염이 심각하게 되자 '90년대에 이르러서는 『오수·분뇨및축산폐수의처리에관한법률』를 제정하여 축산폐수 규제를 일원화하고 규제대상과 방류수 수질기준을 강화하는 등 법적 제도를 재정비하여 시행하고 있다[5]. 그러나 중소규모 축산시설의 경우

* 강원대학교 환경·생물공학부 교수

** 강원대학교 대학원, 토목공학과 박사과정

재정 및 기술상의 취약점 등으로 인하여 대부분 현재 방류수 수질기준인 BOD 30mg/L이하를 만족시키지 못하고 있으며, '97년말 현재 규제미만의 축산농가에서 배출되는 축산폐수가 총발생량의 76%[6]를 차지하고 있어 이에 대한 관리와 지원이 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 국내 축산현황 및 축산폐수의 발생특성을 파악하고, 수도권 상수원인 한강수계를 중심으로 수계에 영향을 미치는 오염원들의 오염실태와 이들 오염원 중 축산폐수가 수계에 미치는 영향을 파악함으로써 향후 축산폐수의 적정처리 및 관리방안을 위한 기초자료를 제시하고자 하였다.

2. 축산폐수 발생현황 및 특성

일반적으로 축사에서 발생하는 폐수는 축산시설의 형태, 분 분리방법, 청소방법 및 사용수량 등에 따라 그 성상이 많이 변화하게 된다. 특히 발생량이 많고 수계에 대한 오염정도가 높은 돈사폐수의 경우, 축사바닥의 형태, 즉 시멘트형 돈사와 망형 돈사에 따라 폐수성상이 매우 달라지게 된다.

재래식 축사의 주종을 이루고 있으며 주로 중소규모 양돈농가에 설치된 시멘트형 돈사는 바닥이 평평한 시멘트 바닥위에서 가축을 사육하고 발생한 돈분은 주로 인력에 의해 제거되며 뇨 및 청소수는 뇨구를 설치하여 별도로 수거한다. 그리고 최근 설치 이용수가 증가하고 있는 망형 돈사는 축사바닥의 일부에 망을 설치하고 그 아래에 분뇨수집구를 설치한 시설로서, 망을 통하여 수집된 돈분과 뇨를 기계(scraper)에 의해 고형분을 분리 수거하는 스크래퍼형과 분뇨를 혼합 배출하는 슬러리형으로 나눌 수 있다. 망형돈사는 인력과 청소수량 및 청소시간을 절약할 수 있고, 축사를 청결히 할 수 있는 장점이 있어 외국의 축산농가와 국내의 일부 대규모 돈사시설에서 운영되고 있다.

우리나라 축사에서 발생되고 있는 가축분뇨의 총발생량은 연간 약 46,410천톤 정도이며, 이중 축분이 67%, 뇨 33%로서 발생량면에서 분이 뇨보다 2배나 높은 것으로 나타났다. 축종별 분뇨 발생량은 한우의 경우 총발생량의 46%이며, 젖소 12%, 돼지 31%, 닭 11%로서 한우 및 양돈에서 발생하는 분뇨가 전체의 77%를 차지하고 있다. 사육규모별로는 규제미만 농가가 45%이며, 신고대상 31%, 허가대상 24%로서 신고규모 이하의 농가에서 발생하는 가축분뇨가 총발생량의 3/4 이상을 차지하는 것으로 조사되었다[7, 8].

축산폐수의 발생특성을 살펴보면 육우의 경우 BOD

는 평균 2,900mg/L이고 배출량은 33L/두·일 정도이며, 젖소의 경우 평균 BOD는 2,790mg/L, 폐수 발생량은 40L/두·일로 나타났다. 또한 돼지의 경우 평균 BOD가 2,510mg/L이며, 평균 폐수발생량은 12.5L/두·일로 조사되었다[9].

축산폐수 발생량의 주종을 이루고 있는 가축들의 연간 사육두수[10]를 살펴보면 Fig. 1과 같이 증가추세에 있어 축산폐수의 연간 발생량도 계속적으로 증가하는 것으로 나타났다.

Table 1. 축산폐수의 특성 및 배출 원단위

항 목		오염 원		
		한 우	젖 소	돼 지
축산시설의 발생오염 원단위 (g/두·일)	BOD	640	170	125
	SS	3,800	4,345	356
	T-N	128	126.5	20.4
	T-P	72	187	16.8
폐수발생량(L) 및 농도(mg/L)	폐수량	33	40	12.5
	BOD	2,900	2,790	2,510
	SS	1,230	1,270	1,660
	T-N		446	450
	T-P		60	150
배출원단위 (g/두·일) 및 발생에 대한 배출율(%)	BOD	95.7 (15.0%)	11.6 (65.6%)	31.4 (25.1%)
	SS	40.6 (1.1%)	50.8 (1.2%)	20.8 (5.8%)
	T-N	14.7 (11.5%)	17.8 (14.1%)	5.6 (27.5%)
	T-P	2.0 (2.8%)	2.4 (1.3%)	1.9 (11.3%)

자료) 환경부, 수질보전장기종합계획수립, 1992

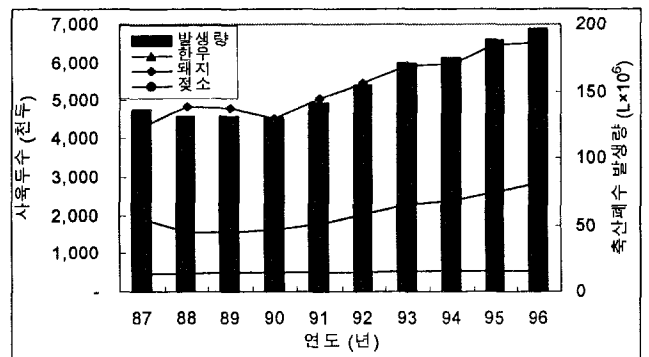


Fig. 1. 주요 가축의 연도별 사육두수 및 발생량 추이
자료) 환경연감, 환경부, 1997

3. 한강수계의 발생원별 오염발생량 및 하천부하량

3.1 수계별 오염현황

한강수계의 오염현황을 파악하기 위하여 한강환경관리청의 『'97 수계별 수질오염통계』 [11]를 문헌조사하였으며, 한강수계에 직접적으로 영향을 미치는 유역을 북한강, 남한강, 한강본류로 구분하여 살펴보았다.

조사결과 수계별 발생원에 따른 총오염발생량 및 오염부하량은 Table 2에 제시한 것과 같다.

한강수계 전체의 폐수발생량은 생활오수 6,359,208 m³/d, 산업폐수 512,262 m³/d, 그리고 축산폐수 39,102 m³/d로 생활오수의 발생량이 가장 많은 것으로 나타났다. 그러나 수계에 직접적으로 영향을 미치는 오염부하량은 각 발생원에서 처리되지 않고 유출되어 하천으로 유입되는 하천부하량이므로 한강수계 전체에 영향을 미치는 오염원들의 하천부하량을 살펴보면 다음과 같다. 한강수계 전체에서 처리되지 않는 총BOD 부하량은 310,602 kgBOD/d로 오염원별 부하량은 생활오수 247,704 kgBOD/d, 산업폐수 40,453 kgBOD/d, 그리고 축산폐수 22,445 kgBOD/d로 나타났으며, 수계별로 살펴보면 북한강 수계에서 약 4.9%, 남한강 수계에서 15.7% 그리고 한강본류에서 79.4%를 차지하는 것으로 나타났다.

또한 이들의 미처리율은 한강수계 전체에서 생활오수 11.1%, 축산폐수 21.2%인 것으로 나타났으며, 오염원중 축산폐수의 미처리율은 수계에 따라 약 18~28%로 매우 높은 것으로 조사되었다.

이와 같이 축산폐수의 오염발생량은 생활오수의 0.05배에 해당하나, 축산폐수의 미처리율은 생활하수의 약 2배정도 높은 것으로 나타나 상대적으로 축산폐수의 관리가 잘 이루어지지 않고 있음을 보여주고 있다.

자료) 수계별 수질오염 통계, 한강환경관리청, 1997

* 산업폐수에 의한 오염부하량 미포함

() : 백분율, %

한강수계 총오염발생량과 하천부하량을 Fig. 2에 제시하였다. 축산폐수의 경우 발생량은 한강수계 전체의 0.6%이고, 수계별로 살펴보면 북한강수계 2.6%, 남한강 수계 3.4%, 한강본류 0.3%로 매우 낮게 차지하는 것으로 조사되었다. 하천부하량은 북한강 수계 19.7%, 남한강 수계 19.4%, 한강본류 4.0%로 상당히 높은 값을 나타내고 있으며, 한강수계 전체로는 약 7%정도의 영향을 미치는 것으로 조사되었다.

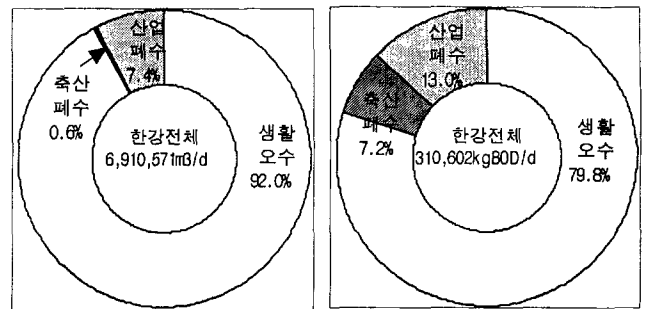


Fig. 2. 한강수계에서의 오염발생량과 하천부하량

Fig. 3은 한강수계 전체의 발생원별 총오염부하량 및 하천부하량을 나타내고 있는데 생활오수의 총오염부하량이 매우 높은 것을 알 수 있으며, 미처리율면에서는 축산폐수가 가장 높은 것을 알 수 있다.

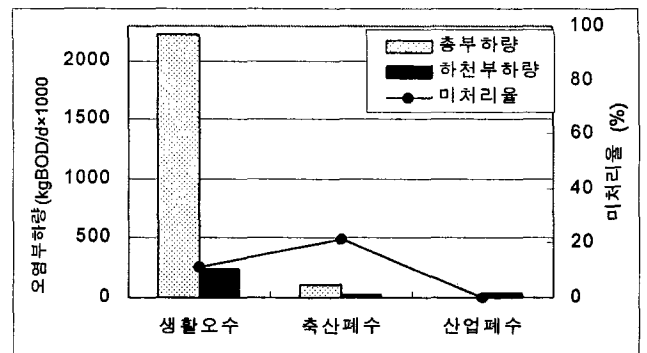


Fig. 3. 한강수계 전체의 발생원별 총오염부하량 및 하천부하량

Table 2. 한강수계의 발생원별 오염발생량 및 하천부하량

구분	총오염발생량 (m ³ /d)	총오염부하량 (kgBOD/d)	하천부하량 (kgBOD/d)	미처리율 (%)
한강수계 전체	6,910,571 (100.0)	2,331,549*	310,602 (100.0)	-
생활오수	6,359,208 (92.0)	2,225,722	247,704 (79.8)	11.1
축산폐수	39,102 (0.6)	105,827	22,445 (7.2)	21.2
산업폐수	512,261 (7.4)	-	40,453 (13.0)	-
북한강 수계	150,617 (100.0)	59,925*	15,303 (4.9)	-
생활오수	140,017 (93.0)	49,006	11,941 (78.0)	24.4
축산폐수	3,847 (2.6)	10,919	3,014 (19.7)	27.6
산업폐수	6,753 (4.5)	-	348 (2.3)	-
남한강 수계	567,279 (100.0)	194,008*	48,617 (15.7)	-
생활오수	406,581 (71.7)	142,303	34,017 (70.0)	23.9
축산폐수	19,022 (3.4)	51,705	9,442 (19.4)	18.3
산업폐수	141,676 (25.0)	-	5,158 (10.6)	-
한강본류	6,192,675 (100.0)	2,077,616*	246,682 (79.4)	-
생활오수	5,812,610 (93.9)	2,034,413	201,746 (81.8)	9.9
축산폐수	16,233 (0.3)	43,203	9,989 (4.0)	23.1
산업폐수	363,832 (5.9)	-	34,947 (14.2)	-

Fig. 4는 북한강 수계의 오염부하량을 나타내었는데 한강수계 전체와 비슷한 양상을 보이고 있으며, 생활오수 및 축산폐수의 미처리율이 20%이상 되어 상당히 높은 것으로 나타났다.

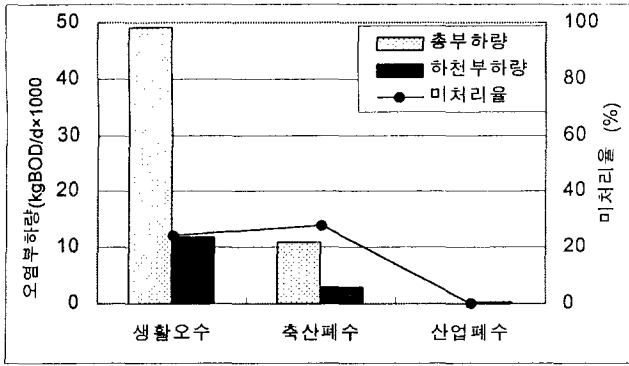


Fig. 4. 북한강 수계의 발생원별 총오염부하량 및 하천부하량

Fig. 5는 남한강 수계의 오염부하량을 나타낸 것으로서 축산폐수의 부하량이 타 수계에 비해 다소 높은 것으로 나타났다. 그리고 미처리율은 생활오수가 더 높은 것으로 나타나 다른 수계와 상이한 결과를 보였다.

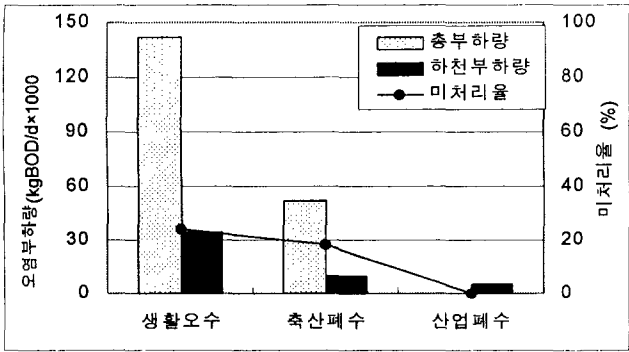


Fig. 5. 남한강 수계의 발생원별 총오염부하량 및 하천부하량

Fig. 6은 한강분류의 오염부하량을 나타낸 것으로서 축산폐수의 미처리율이 20%이상으로 나타나는 것을 알 수 있다.

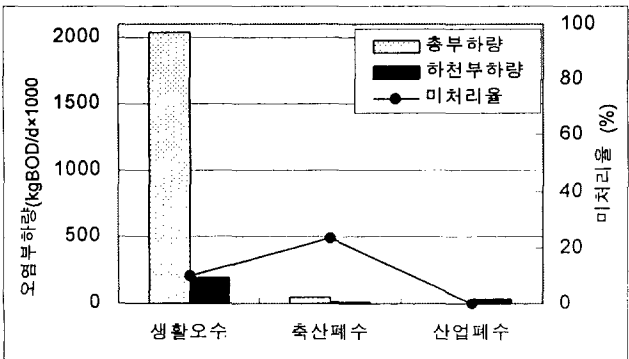


Fig. 6. 한강분류의 발생원별 총오염부하량 및 하천부하량

Fig. 7에서는 각 수계별로 오염원별 하천부하량을 나타내었다. 앞서 서술한 바와 같이 생활하수의 하천

부하량이 매우 높은 것을 알 수 있으며 축산폐수의 경우 북한강수계 19.7%, 남한강수계 19.4%, 한강분류에서 4.0%를 각각 차지하여 북한강과 남한강 수계에서 하천부하량이 높은 것으로 조사되었다.

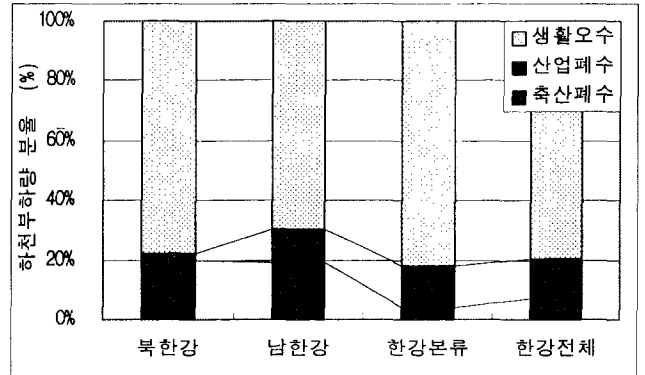


Fig. 7. 한강수계의 각 오염원별 하천부하량 분율

3.2 수계 위치별 오염현황

한강수계를 상·중·하류로 구분하여 오·폐수 발생량과 오염부하량을 Table 3에 제시하였으며, 수계 위치구분은 Table 4와 같이 구분하여 산정하였다.

오·폐수 발생량면에서는 생활오수의 경우 상류 381,388 m³/d, 중류 3,766,130 m³/d, 그리고 하류 2,211,690 m³/d로 중류와 하류의 생활오수 발생량이 한강수계 전체의 94.0%를 차지하는 것으로 조사되었다. 그러나 축산폐수의 경우 상류 21,790 m³/d, 중류 14,518 m³/d 그리고 하류 2,794 m³/d로 조사되어 생활오수와는 달리 상·중류에서 발생량(92.9%)이 많은 것으로 나타났다. 또한 하천부하량면에서는 오·폐수 발생량과 비슷한 양상을 나타내었는데 생활오수는 중·하류에서 85.8%, 축산폐수는 상·중류에서 91.7%를 차지하는 것으로 나타났다.

Table 3. 한강수계 위치에 따른 오·폐수발생량 및 하천부하량

구분		생활오수	축산폐수	산업폐수
1. 오·폐수발생량 (m ³ /d)	상류	381,388 (6.0)	21,790(55.7)	165,252(32.3)
	중류	3,766,130(59.2)	14,518(37.2)	190,219(37.1)
	하류	2,211,690(34.8)	2,794 (7.1)	156,790(30.6)
2. 오염부하량 (kgBOD/d)	상류	133,486	58,788	-
	중류	1,318,144	39,521	-
	하류	774,092	7,518	-
3. 하천부하량 (kgBOD/d)	상류	35,193(14.2)	11,202(49.9)	11,152(27.6)
	중류	117,716(47.5)	9,372(41.8)	14,266(35.3)
	하류	94,795(38.3)	1,871 (8.3)	15,035(37.2)

() : 수계 위치별 오염원 비율, %

Table 4. 한강수계 전체의 각 유역별 위치구분

구 분		소 하 천 명
상류	북한강	인북천, 소양강, 양구서천, 파로호, 화천천, 홍천강
	남한강	평창강, 제천천, 충주호, 달천, 원주천, 섬강, 청미천, 양화천, 북하천, 후천
	임진강	김화남대천, 영평천, 신천
중류	북한강	북한강, 공지천
	남한강	남한강, 경안천, 팔당호
	한강본류	한강, 왕숙천, 중랑천, 탄천
	임진강	한탄강, 임진강
하류	한강본류	안양천, 굴포천, 곡릉천
	임진강	문산천, 사천

한강수계의 위치에 따른 총오염발생량, 부하량과 하천부하량의 변화는 Fig. 5~7에 나타낸 바와 같다. 그림에서도 알 수 있듯이 생활하수는 중·하류에서, 축산폐수는 상·중류에서 오염정도가 높은 것을 알 수 있다. 따라서 축산폐수에 의한 오염문제는 한강수계 본류 보다는 상류에 위치한 북한강과 남한강의 오염이 심각한 것으로 나타나 하류보다 상·중류에 대한 오염저감대책이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

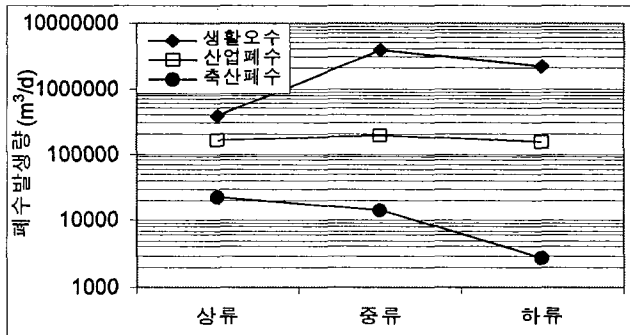


Fig. 5. 하천위치별 총오염·폐수발생량 변화

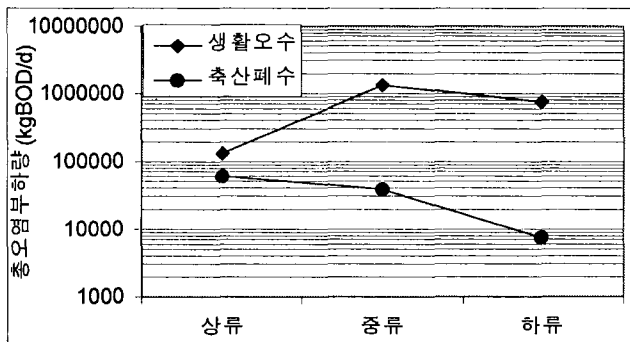


Fig. 6. 하천위치별 총오염부하량 변화

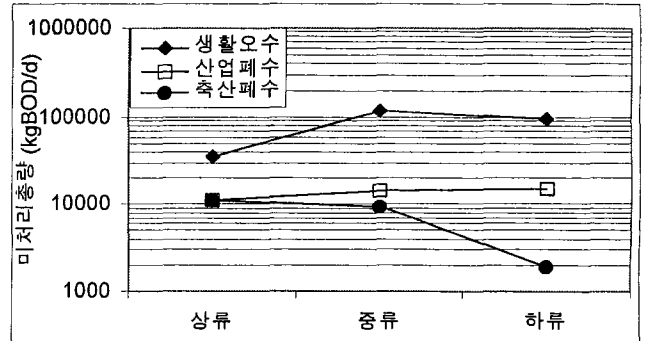


Fig. 7. 하천위치별 하천부하량 변화

4. 결 론

1. 축산폐수의 발생량은 생활오수, 산업폐수 등을 포함한 한강수계 전체 폐수량의 1%에도 미치지 못하나, 부하량면에서는 약 7%에 이르는 것으로 나타났다.
2. 한강수계 전체에서 발생하는 하천부하량은 약 310,602 kgBOD/d로 이중 북한강 수계에서 약 4.9%, 남한강 수계에서 15.7%, 한강본류에서 79.4%를 차지하는 것으로 나타났다.
3. 한강수계에서 축산폐수의 미처리율은 북한강, 남한강, 한강본류로 수계별로 조사한 결과 약 18~28%로 오염원중 가장 높은 것으로 조사되었다.
4. 오염발생량에서는 축산폐수가 생활오수에 비해 약 0.05배정도로 상당히 적게 발생하는 것으로 나타났으나, 미처리율면에서는 축산폐수가 약 2배정도 높은 것으로 나타나 축산폐수의 관리가 매우 시급한 실정이다.
5. 한강수계로 유입되는 각 수계별 하천부하량중 축산폐수는 북한강수계 19.7%, 남한강수계 19.4%, 한강본류 4.0%를 차지하는 것으로 조사되었다.
6. 한강수계 전체를 상·중·하류로 구분하여 조사한 결과, 축산폐수는 상류로 갈수록 발생량 및 하천부하량이 90%이상으로 상당히 높으므로 상·중류에서의 축산폐수 오염저감대책이 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] 농림통계연보, 농림부, 1997.

- 산업기술연구(강원대학교 산업기술연구소 논문집), 제18집, 1998.
 Research Report. The Institute of Industrial Technology, Kangwon Nat'l Univ., Korea, Vol. 18, 1998.
- [2] 황규대 외, "축산 하수 종말처리장의 설계 최적화에 관한 연구", 수질보전학회지, 제9권, 제4호, 1993.
- [3] 전국 축산분뇨 적정관리대책 연구, 한국과학기술원·한국환경과학연구협회의, 1990.
- [4] 최홍립 외, "丘陵地에 밀집한 소규모 낙농가의 축산폐수가 支川의 수질환경에 미치는 영향", 한국축산학회지, 39(4), 1997.
- [5] 축산폐수정화시설관리-축산폐수정화시설 기술관리인 과정, 환경부·환경보전협회, 1995.
- [6] 오수·분뇨 및 축산폐수처리 통계(Ⅱ)-축산폐수의 발생 및 처리, 환경부, 제40권, 제3호, 1997.
- [7] 가축통계, 농림부, 1997.
- [8] 최홍립 외, "우리나라의 가축분뇨 처리현황", 한국축산학회지, 제40권, 제2호, 1997.
- [9] 수질보전장기종합계획수립, 환경부, 1992.
- [10] 한국환경연감, 환경부, 제10호, 1997.
- [11] 수계별 수질오염 통계, 한강환경관리청, 1997.