

분뇨 처리형태에 따른 축산계 오염부하량 산정

Calculation of pollutant loadings discharged from domestic systems

엄명철*(농기공) · 공동수(국립환경연구원) · 권순국(서울대)
Eom, Myung Chol · Kong, Dong Soo · Kwun, Soon Kuk

Abstract

Discharge characteristics of pollutant loadings from domestic systems were estimated in the catchment of a reclaimed area, Saemankeum. Pollutant loadings was estimated according to the discharge pattern of small treatment facilities. Recycled-fertilizer system was dominant in this area.

I. 서론

축산농가에서 발생하는 가축분뇨는 분뇨와 축산 세정수가 혼합되어 있는 축산폐수 및 축분의 형태인 고형물 상태로서 수역에 배출되는데, 발생량에 비해 오염물질 부하량이 매우 커서 미처리 방류시 하천의 수질악화는 물론 호소 등 정체수역에서 부영양화 등을 초래할 뿐만 아니라, 토양 및 지하수 오염문제 등도 야기시키고 있어 이에 대한 대책이 필요하다.

가축분뇨는 축산시설의 형태, 분 분리작업, 청소방법 및 사용수량에 따라 그 배출되는 부하량의 변화가 크고, 또한 수역으로 배출되는 부하량의 대부분이 강우기에 빗물과 함께 하천으로 유입되는 비점원의 특성을 가지고 있다. 그러므로 가축분뇨에 의한 배출부하량을 정확하게 계산하기 위해서는 축산농가에서의 개별처리 형태 및 자원화 유무, 축산폐수 공공처리시설로의 유입량, 강우 특성을 고려한 배출부하 계산이 이루어져야 한다.

본 연구는 가축 사육농가의 처리형태별 오염물질 배출특성을 파악하여 이에 따른 축산에 의한 오염부하량을 계산하고, 이를 새만금호 유역에 적용하여 축산계 부하의 적절한 저감대책 수립에 기여코자 한다.

II. 축산부하 배출구조

각 사육농가에서 발생한 가축분뇨는 생물학적 폐수처리 및 자원화 시설을 거쳐 인근 농경지로 환원되거나 축산폐수 공공처리시설을 거쳐 수역으로 배출되게 된다.

본 연구에서는 가축분뇨가 개별농가에서 처리되는 형태를 총 11가지로 분류하였다. 분과 뇨 성분을 분리하여 처리하는 경우에는 뇨 성분은 생물학적 처리를 거치며, 분 성분은 톱밥발효 및 퇴비화, 액비화, 야적 등 4가지 형태로 분류하였다. 축분과 뇨를 동시에 처리하는 형태는 톱밥발효, 퇴비화, 액비화, 퇴비화+액비화, 위탁처리, 기타 등 6가지로 분류하며, 아무런 처리시설을 거치지 않는 경우에는 무처리로 분류하였다.

1. 발생부하량

가축분뇨에 의한 발생부하량은 축종별 사육두수와 발생부하 원단위를 곱하여 산정한다. 발생원단위는 분뇨뇨에 대해 각각 적용하며, 축산폐수에 의한 부하량 원단위는 생물학적 폐수처리에 따른 부하 삭감량을 산정하기 위해 적용하였다. 축종별 발생원단위는 표-1과 같다.

표-1 축종별 발생부하 원단위

구 분		BOD(g/두/일)				T-N(g/두/일)				T-P(g/두/일)			
		한우	젓소	돼지	닭	한우	젓소	돼지	닭	한우	젓소	돼지	닭
분뇨	분	484.8	516.6	96.0	5.2	80.8	115.6	16.0	1.1	34.34	54.12	11.20	0.41
	뇨	43.2	39.6	13.0	0.0	36.0	46.2	11.7	0.0	1.80	2.53	1.04	0.00
	소계	528.0	556.2	109.0	5.2	116.8	161.8	27.7	1.1	36.14	56.65	12.24	0.41
축산폐수		67.4	117.1	32.2	0.0	40.0	63.5	14.9	0.0	3.52	10.65	3.28	0.00

2. 축산분뇨 개별처리

가. 생물학적 폐수 처리

축산폐수가 생물학적 처리과정을 거치는 경우에는 정화시설의 처리효율을 이용하여 부하량저감량을 산정하였다.

배출허용기준이 있는 경우에는 규제 농도에 따른 오염물질 배출량을 산정하였다. 1998년 현재 BOD 배출허용 기준은 허가대상 농가는 50mg/L, 신고대상 150mg/L, 간이대상은 500mg/L이다. 1999년에 다시 배출허용기준이 강화되었지만, 본 연구에서는 1998년 기준을 적용하였다. 배출허용기준이 없는 T-N과 T-P 및 미규제 대상농가의 BOD 삭감효율은 국내의 문헌을 참고하여 적용하였다. 생물학적 처리 과정에서 발생하는 축산폐수 슬러지가 다시 농경지로 환원되는 경우에는 그 삭감효율을 적용하였다. 표-2는 생물학적 처리효율 및 축산폐수의 농경지 재순환비를 나타낸다.

표-2 생물학적 처리에 따른 축산폐수 삭감효율 및 폐수처리 삭감부하 농지 재순환비

구분		폐수처리 삭감효율			슬러지 배출계수		
		BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P
생물학적 처리	허가대상	-	0.60	0.81	0.12	0.50	1.00
	신고대상	-	0.50	0.75	0.24	0.50	1.00
	간이대상	-	0.49	0.69	0.35	0.50	1.00
	미규제	0.69	0.49	0.69	0.40	0.50	1.00
무처리		0.20	0.15	0.20	0.50	0.50	1.00

나. 자원화 처리

자원화 시설을 거치거나 농경지로 비료화되는 가축분뇨는 개별처리시설의 자원화 처리효율 및 농경지 유출비를 적용하여 계산하였다. 농경지 유출비는 가축분뇨가 자원화 시설을 거쳐 농경지에 비료로 시비되었을 경우, 농경지에서 유출되는 가축분뇨 부하량의 용출율을 말한다.

표-3은 가축분뇨가 자원화 시설을 거치는 경우의 자원화 시설 처리효율을 나타내며 표-4는

자원화 시설을 거쳐 농경지로 환원되었을 때, 농경지에서의 유출비를 나타낸 것이다.

표-3 가축분뇨 자원화시설 처리율

처리유형		BOD		T-N		T-P	
		한우, 젓소,돼지	닭	한우, 젓소,돼지	닭	한우, 젓소,돼지	닭
생물처리 병행시	톱밥발효	0.40	-	0.30	-	0.00	-
	퇴비화	0.40	-	0.30	-	0.00	-
	액비화	0.35	-	0.23	-	0.00	-
	야적	0.20	-	0.25	-	0.00	-
분뇨 전량 자원화	톱밥발효	0.40	-	0.20	-	0.00	-
	퇴비	0.50	0.55	0.20	0.80	0.00	1.00
	액비	0.30	-	0.18	-	0.00	-
	퇴비+액비	0.50	-	0.20	-	0.00	-
	위탁	0.50	-	0.20	-	0.00	-
	기타	0.50	-	0.20	-	0.00	-
무처리		0.20	-	0.15	-	0.00	-

표-4 가축분뇨 농경지 유출비

처리유형		BOD				T-N				T-P			
		한우	젓소	돼지	닭	한우	젓소	돼지	닭	한우	젓소	돼지	닭
생물 처리 병행시	톱밥발효	0.08	0.07	0.06	-	0.16	0.14	0.13	-	0.040	0.035	0.031	-
	퇴비화	0.08	0.07	0.06	-	0.16	0.14	0.13	-	0.040	0.035	0.031	-
	액비화	0.10	0.08	0.08	-	0.20	0.18	0.16	-	0.060	0.053	0.047	-
	야적	0.12	0.11	0.09	-	0.32	0.28	0.25	-	0.080	0.070	0.063	-
분뇨 전량 자원화	톱밥발효	0.10	0.10	0.10	-	0.20	0.20	0.20	-	0.050	0.050	0.050	-
	퇴비	0.10	0.10	0.10	0.10	0.20	0.20	0.20	0.20	0.050	0.050	0.050	0.050
	액비	0.12	0.12	0.12	-	0.25	0.25	0.25	-	0.075	0.075	0.075	-
	퇴비+액비	0.10	0.10	0.10	-	0.20	0.20	0.20	-	0.050	0.050	0.050	-
	위탁	0.10	0.10	0.10	-	0.20	0.20	0.20	-	0.050	0.050	0.050	-
	기타	0.10	0.10	0.10	-	0.20	0.20	0.20	-	0.050	0.050	0.050	-
무처리		0.15	0.15	0.15	-	0.40	0.40	0.40	-	0.100	0.100	0.100	-

3. 배출부하량

가. 개별축사 배출부하량

각 사육농가에서 발생한 가축분뇨는 생물학적 폐수처리 및 자원화 시설을 거쳐 인근 농경지로 환원되거나 축산폐수 공공처리시설을 거쳐 수역으로 배출되게 된다. 생물학적 처리를 거치거나 무처리 상태로 수역으로 배출되는뇨 성분은 점원의 형태를 띠게 되며, 자원화시설이나 농경지에 환원된 고형물 성분은 비점원의 형태로 수역으로 유입된다. 수역으로 배출되는 축산계 부하 중 공공처리장으로 유입되는 양을 제외하고는 대부분이 개별처리시설 및 농경지를 거치게 된다. 축산폐수 공공처리시설로 유입되는 양을 제외한 개별축사 및 농경지에서 배출되는 부하량을 점배출 부하량 및 비점배출 부하량으로 구분하여 식-1과 같이 계산한다. 폐수 자원화 비율은 톱밥발효 및 퇴비화, 야적은 1.0이며 액비화 처리는 0.5를 적용하였다.

$$\begin{aligned}
L'_w &= (1 - \beta_4)(1 - \beta_3)(1 - \beta_2)L_w \\
L'_s &= \beta_7(1 - \beta_2)[(1 - \beta_6)(L_s + \beta_3L_w) + \beta_5\beta_4(1 - \beta_3)L_w] \\
L'_c &= L'_w + L'_s
\end{aligned}
\tag{식-1}$$

- 여기서
- L'_w : 개별축사 짐배출 부하량
 - L'_s : 개별축사 비점배출 부하량
 - L'_c : 개별축사 배출부하량
 - β_2 : 축산폐수공공처리장 유입부하량
 - β_3 : 폐수 자원화 비율
 - β_4 : 폐수 삭감효율
 - β_5 : 슬러지 배출계수
 - β_6 : 자원화시설 처리율
 - β_7 : 농경지 유출비

이다.

나. 유역 배출부하량

유역내 수계로 배출되는 축산부하량은 개별축사에서 배출된 부하와 공공처리장에서 방류되는 부하량의 합으로 계산된다. 이중 비점배출량은 대부분이 강우기에 빗물과 함께 배출되는데 이 양은 월별 유효강우량의 비율을 적용하였으며, 농경지의 시비기인 5월부터 8월까지의 시비기 가중치 0.8을 다시 적용하여 월별 비점배출부하량을 계산하였다.

III. 모형의 적용

새만금 간척사업으로 인하여 새롭게 조성되는 새만금호는 집수유역이 넓어 상류지역의 잠재오염원의 적정관리가 이루어지지 않을 경우, 호소의 수질오염 가능성이 높다. 새만금 유역에 위치한 여러 형태의 오염원 중에서 가축분뇨에 의한 수질오염의 심각성은 여러 연구에서 제기된 바 있다. 본 연구에서는 새만금 유역을 대상으로 가축분뇨에 의한 축산계 오염부하량을 축종별, 처리형태별로 계산하여 가축분뇨에 의한 오염부하를 산정하고자 한다.

1. 축산 사육두수

새만금유역내에서 사육되는 가축은 1998년 현재 한우 111,363두, 젖소 24,111두, 돼지 554,591두이며 닭은 9,778천수로서 전국의 사육두수에 비교하여 한우는 4.7%, 젖소 4.5%, 돼지 7.4%, 닭 11.4%로서 돼지 및 닭의 사육두수가 매우 높았다. 이는 김제시에 소재하는 전국 최대의 계육 공장인 「하림」과 전북 양계협회에서 직영하는 육가공 공장의 대량 매입으로 인해 계육 사육하는 양계농가가 새만금 유역내에 집중 분포되어 있기 때문으로 생각된다.

개별 처리형태로는 분뇨 동시처리가 주를 이루며, 이 중 톱밥발효 및 퇴비화 농가가 대부분

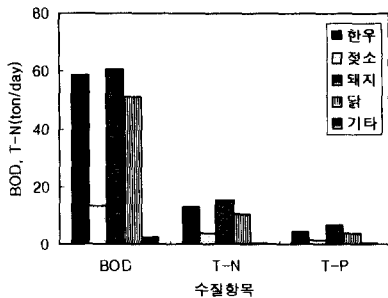
을 차지하고 있다. 생물학적 처리는 허가대상 및 신고대상 농가에서 주로 이루어지고 있으며, 닭은 거의 퇴비화 처리형태를 띠고 있다.

표-5 새만금유역내 축산분뇨 처리형태별 가축사육두수(1998년말 기준)

처리형태		허가대상			신고대상				간이대상			미규제			
노	분	한우 (두)	젓소 (두)	돼지 (두)	한우 (두)	젓소 (두)	돼지 (두)	닭 (천수)	한우 (두)	젓소 (두)	돼지 (두)	한우 (두)	젓소 (두)	돼지 (두)	닭 (천수)
생물처리	톱발효	0	0	1874	0	0	7874	0	0	0	0	0	0	0	0
	퇴비	0	0	1720	38	0	1819	0	0	0	0	0	0	2458	0
	액비	0	0	0	187	0	542	0	0	0	0	0	0	0	0
	야적	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
톱발발효	퇴비	1330	1753	93308	10175	3460	37984	263	7	222	150	5213	1564	1757	0
	액비	8022	3970	137910	19774	5070	100747	3873	130	172	0	14466	1515	5137	3486
	퇴비+액비	50	0	2938	415	88	26654	0	0	0	0	0	0	5647	0
	위탁	0	110	3915	72	90	8793	10	0	0	29	174	115	1283	0
	기타	0	0	2458	228	55	4806	690	0	0	0	0	0	600	0
	무처리	1200	0	1720	262	40	2081	1436	0	0	0	0	0	0	0
계	20	0	8955	0	0	55741	0	0	0	0	49601	5887	35692	18	
계	10621	5833	254798	31150	8803	247041	6273	137	394	179	69455	9081	52574	3505	

2. 발생부하량

가축에 의한 발생부하량은 BOD 186,203kg/day, T-N 43,565kg/day, T-P 16,412kg/day이며, 축종별로는 돼지의 부하량이 33%~41%로 가장 높고, 다음으로 한우, 닭, 젓소 순이다. 닭은 발생부하량은 높게 나타나지만, 대부분이 퇴비화 형태로 처리되고 있으므로 실제로 수역으로 배출되는 양은 그다지 높지 않다.



축종	BOD(kg/day)	T-N(kg/day)	T-P(kg/day)
한우	58,800 (32%)	13,007 (30%)	4,025 (25%)
젓소	13,411 (7%)	3,902 (9%)	1,366 (8%)
돼지	60,450 (33%)	15,362 (35%)	6,788 (41%)
닭	51,156 (28%)	10,635 (24%)	3,970 (24%)
기타	2,386 (1%)	659 (2%)	263 (26%)
계	186,203 (100%)	43,565 (100%)	16,412 (100%)

그림-1 새만금유역 축종별 축산계 발생부하량(1998년)

2. 배출부하량

개별 축사에서 발생된 부하량은 개별처리시설 및 축산폐수공공처리시설을 거치거나 농경지로 환원되어 다시 수역으로 배출되게 된다. 새만금 유역내 개별축사 배출부하량은 연간 BOD 20,399kg/day, T-N 12,186kg/day, T-P 1,601kg/day이며, 이 중 3.6~6.5%인 BOD 1,331kg/day, T-N 525kg/day, T-P 58kg/day가 축산폐수 공공처리장으로 유입된다. 1998년 현재 새만금유역내의 유일한 축산폐수 공공처리장인 익산시 축산폐수 처리장은 1998년 5월부터 가동을 시작하였다.

축산계 부하량은 개별축사 및 농경지에서 배출되는 비점원 부하량이 많아 강우가 많은 6월~8월 동안에 많은 양의 부하가 배출되는 특성을 가지고 있다.

표-6 새만금유역내 가축분뇨에 의한 월별 배출부하량(1998년)

월	개별축사 배출부하량			축산폐수공공처리장 유입부하량			축산폐수공공처리장 방류부하량			유역내 배출부하		
	BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P
1월	8,324	4,667	659	0	0	0	0	0	0	8,324	4,667	659
2월	8,454	4,740	671	0	0	0	0	0	0	8,454	4,740	671
3월	9,519	5,402	754	0	0	0	0	0	0	9,519	5,402	754
4월	15,435	9,078	1,221	0	0	0	0	0	0	15,435	9,078	1,221
5월	20,248	12,116	1,585	937	1,115	113	229	744	66	19,540	11,745	1,538
6월	44,683	27,387	3,494	1,968	853	90	261	1,149	81	42,976	27,682	3,485
7월	32,377	19,719	2,528	1,579	403	68	243	355	53	31,042	19,671	2,513
8월	54,070	33,142	4,241	2,597	612	87	146	314	65	51,619	32,844	4,220
9월	23,531	14,164	1,843	2,734	1,057	107	241	602	51	21,037	13,709	1,787
10월	11,591	6,703	915	1,846	886	77	232	496	63	9,977	6,313	901
11월	7,985	4,297	615	2,115	735	105	154	385	48	6,024	3,946	559
12월	7,743	4,297	615	2,115	600	50	133	408	37	5,761	4,104	602
평균	20,399	12,186	1,601	1,331	525	58	137	372	39	19,206	12,034	1,581

IV. 요약 및 결론

가축분뇨의 처리형태별로 배출구조를 파악하여, 새만금호 유역을 대상으로 축산 발생부하량 및 배출부하량을 계산하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 가축분뇨의 개별처리형태를 분 분리 여부 및 방법에 따라 총 11가지로 분류하고, 이에 따른 배출부하량 계산요소를 파악하였다.
- 2) 새만금유역은 돼지와 닭의 사육두수가 전국의 7.4~11.4%를 차지할 정도로 밀집되어 분포하고 있으며, 개별처리 형태는 분뇨 동시처리 형태인 퇴비화와 톱밥발효가 대부분을 차지하고 있다.
- 3) 가축에 의한 발생부하량은 돼지가 33~41%로 가장 높고, 한우, 닭, 젓소가 다음을 차지하고 있으며, 닭은 발생부하량은 높지만, 대부분이 퇴비화 처리되므로, 실제로 수역으로 배출되는 양은 극히 소량이다. 처리형태별 배출부하량 계산결과, 고형물 형태로 배출되는 비점 배출량이 축산계 부하의 대부분을 차지하며, 이는 주로 강우가 많은 시기인 6월부터 8월 사이에 집중적으로 배출된다.

참고문헌

1. 농림부, 농어촌진흥공사, 새만금지구 담수호 수질보전 대책수립 조사연구(Ⅱ).
2. 정부합동, 1998, 팔당호 등 한강수계 상수원 수질관리 특별종합대책 맑은한강-새천년의 대계.
3. 정부합동, 1999, 낙동강수계 물관리종합대책(안).
4. 환경부, 1999, 새만금지구 수질보전 종합대책(시안).
5. 國松孝男, 村岡浩爾, 1989, 河川汚濁のモデル解析, 技報堂出版.