

연안도시분뇨의 해양처리

김오식 / 한국산업안전공단
유해물질과

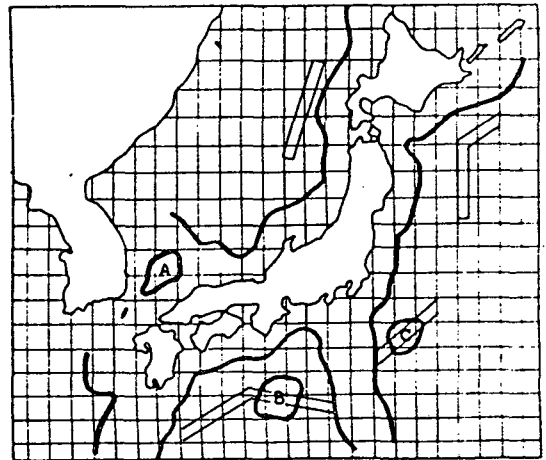
1. 분뇨의 해양처리

옛날부터 인분은 양어장의 사료로 이용되어 왔었다. 분뇨는 인체에서 유래된 폐기물이므로 카드뮴이나 수은 및 폐유 등은 거의 함유되어 있지 않다. 분뇨중의 질소나 인 등의 비료성분은 연안 해역이나 내만에서는 적조(red-tide)의 발생원인이 되기도 하지만 빈영양상태(貧營養狀態)인 외양(外洋)에서는 해양의 생산력을 증대시키게 된다.

분뇨를 해양에서 처리하는 경우에는 분뇨중에 잔존하는 병원균이 문제점으로 생각되는 것이 일반적이다. 그러나 분뇨의 대장균이나 살모넬라균은 해수중에서 하루만에 죽게 되며, 해수를 본래의 서식처로 삼는 장염비브리오균도 해수중에서 3일 정도 밖에 생존하지 않는다. 해수중으로 분뇨가 투입되면 해수중의 프랑크톤이 증식되지만 이러한 프랑크톤들이 스스로 다른 침입자들을 죽이는 살균작용도 가지고 있다.

외양에 분뇨를 투기하면 분뇨의 성분이 시비(施肥)로 되어 프랑크톤이 증가한다. 이러한 프랑크톤이 증식은 광 광대한양제 외양해역에 투입되는 분뇨를 흡수하여 정화시키는 기능을 하게 된다. 외양에서의 프랑크톤의 증식은 중국적으

로는 어류의 생산성을 증대시키게 된다. 이는 해양의 목장화에도 이용될 수 있는 가능성이 존재하는 것이다. 이스라엘에서는 1헥타르의 양어장에 1.5 m^3 의 분뇨를 방류하여 시료투입량의 절반을 절약하였다고 보고하고 있으며, 미국에서는 패류나 갑각류의 배양조에 하수를 통과시켜 질소나 인을 제거하는 연구도 하고 있다. 또한 영국의 템즈강유역 수자원공사는 런던시의 하수처리



<그림 1> 일본의 분뇨해양투입해역
A : 후쿠오카, 북규슈방면
B : 오오사카방면
C : 동경방면

장에서 발생하는 하수슬러지를 탈수하지 않고 북해로 운송하여 해양처리하고 있다.

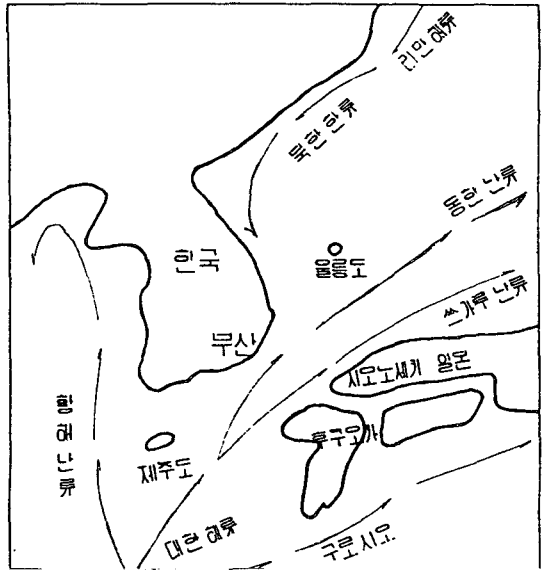
연안역 밖의 외해역은 극도의 빈영양상태로서 어장의 가치가 낮은 것이 일반적이다. 그러므로 일본에서는 분뇨라는 자원을 재이용 및 재순환하는 측면에서 외해역(동해와 태평양)에 분뇨를 시비하고 있다. 더구나 일본열도의 연안에 위치하는 많은 중소도시에서는 분뇨의 해양처리가 대부분을 차지하고 있다. 1986년도 일본의 분뇨 및 정화조오니의 처리현황(일본의 폐기물 '86, p.35)에 의하면 일본의 전인구에 대한 분뇨 및 정화조오니의 처리는 73.3%가 분뇨 처리 시설, 5.2%가 하수처리장 투입, 9.0%가 자가처리, 1.7%가 농토환원 그리고 10.8% (11,715 Kℓ/day)가 해양투기에 의한 해양처리되었다. 이러한 해양처리량은 지난 10여년 동안 거의 일정한 것이었다.

분뇨의 해양처리에 대한 해양생태계의 해석(富山, 1981)을 보면 1g의 식물성프랑크톤을 생산하는데에 60~90mg의 질소와 10~15mg의 인이 소요되며, 인을 생산력의 제한인자로 하는 경우에는 1g의 인이 건조중량 80g(즉, 생체량 400g)의 식물성프랑크톤을 생산한다고 하였다. 그러므로 분뇨 1,000Kℓ/day의 해양처리에 있어서는 하루에 증가되는 어획량이 약 5.8톤 즉 연간 어획량의 증가가 2,117톤이라고 하였다.

수역의 수질오염을 방지하기 위하여서는 육상에서 배출되는 분뇨나 오수 및 하수를 완벽하게 처리하는 것이 최상의 방도이다. 그러나 우리나라는 분류식(separate system)의 하수관망을 확보하고 있지 못하므로 분뇨와 정화조오니를 수거하여 처리하여야 하는 부담을 안고 있다. 이렇게 수거된 분뇨를 수심이 깊고 조류가 빠르며 해역이 넓은 바다에 적절한 양으로 투기하여 해양처리하게 되면 육상의 오염원도 감소시킬 수 있고 분뇨에 함유된 영양염류에 의한 해양의 생산력도 증대시킬 수 있다. 따라서 부산을 비롯한 우리나라 동남연안도시분뇨의 해양처리는 도시 하수

도의 분류식하수관망이 완비될 때까지의 분뇨처리를 위한 하나의 좋은 잠정적이고 한시적인 대체방안이라고 할 수 있다.

부산시 등의 연안도시와 접하고 있는 동해는 평균수심이 1,700m이며 표면유속이 70cm/sec 정도이고, 1노트 이상의 강한 대마난류가 대한해협을 통하여 년중(4계절) 북태평양으로 북상하고 있으며 용존산소분포는 심층수까지 5mg/l 이상으로 거의 균일한 수직분포를 이루고 있다. 또한 동해와 외해가 연결되는 해협의 수심이 150m 이내이므로 영양염의 농도가 높은 심층수가 유입되지 못하며 인도양이나 태평양에 비하여도 빈영양상태이므로 우리나라 동해연안은 분뇨해양처리의 최적해역이라고 생각된다.



<그림 2> 우리나라해역의 해류동향

2. 우리나라의 분뇨해양투기법규

분뇨의 해양투기에 관한 사항은 해양오염방지법에서 규정하고 있으며, 분뇨투기를 위한 해역의 환경영향평가는 환경정의 고시에 준하여 시행하여야 한다. 해양오염방지법상의 “정해역”은 일반적으로 항만의 경계선으로부터 10km 밖이지만 대부분의 액상폐기물에 대한 투기해역은 영해기선으로부터 50해리밖인 “병해역”으로 규정되어 있다. 그러나 정부는 1988년 5월 25일의

보사부령 제 816호로서 분뇨에 대한 “정해역”은 항만의 경계선으로부터 30 km 밖의 해역이라고 별도로 개정하여 우리나라 연안도시 분뇨의 해양처리를 묵시적으로 유도하고 있다. 여기서 분뇨의 해양처리를 위한 법규를 요약하여 보자

1) 분뇨의 해양투기 관련법규

o 분뇨의 해양투기 정의(해양오염방지법 2조): 배출사항, 순간배출을

o 분뇨의 해양투기 가능(해양오염방지법 10조 4항): 보사부령에 따른 처리방법 및 지정해역에 배출할 수 있다.

o 분뇨투기 운반선의 등록(동법 시행령 10조): 등록번호, 선박의 종류, 항해구역, 분뇨의 선적지, 배출지정해역

o 투기분뇨의 처리방법 및 지정해역(동법 시행규칙 6조): i) 배출해역의 지정: 환경청장의 권한사항, ii) 투기분뇨의 처리방법: 황산제일철 혹은 염화제일철을 0.1% 이상 혼합하여 마쇄하고 항해중에 수중 깊이 배출한다. iii) 투기해역: 항만구역으로부터 30 km 밖의 정해역, iv) 환경청장에게 제출할 해역지정용 제출자료: 분뇨의 특성과 성분, 배출장소의 특성과 배출방법(위치, 깊이, 처리율, 포장, 회석화, 분산특성, 해저특성, 해수특성, 계절성) 그리고 해양생물과 증·양식에 대한 영향, 어장에 대한 영향, 선박항해에 대한 영향

2) 분뇨의 배출해역지정(해역환경영향평가)에 관한 사항(환경청 고시 87-25호)

o 조사범위: 최대해조류속도(m/sec) \times 1/2 조석주기(sec) \times 1/3.14 \times (1/4)삭망월중의 조석주기수)

o 단위시간당 처분율: 연속배출법과 dump법 및 Zigzag 법에 따른 배출율 및 시뮬레이션화

o 배출초기의 회석화: 분산 및 확산에 따른 모델링으로 영향권 파악

o 분산특성: 해수유동잔차류는 3점에서 25시간 이상 연속관측

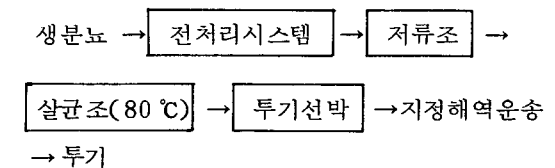
o 투기예상해역의 결정: 최대해조류속도(m/sec) \times 1/2 조석주기(sec) \times 3.14

o 계절적인 변동: 모든 조사항목에 대하여 실측 2계절의 계절적인 변화규명

3. 분뇨의 해양처리 프로세스

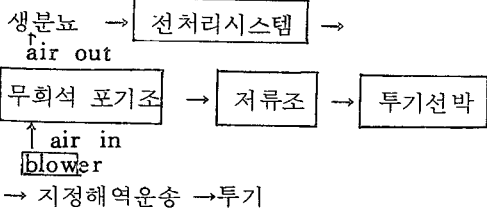
분뇨고 고농도의 유기성 폐기물이므로 해양에 배출되면 확산이나 분해에 의하여 처리되는 것이다. 즉 1) 확산에 의한 희석: 해류에 의한 확산과 조류에 의한 확산, 2) 유기물의 분해(해수의 자정작용): 미생물에 의한 분해와 용존물질(산화성, 환원성)에 의한 분해 및 수산 동식물의 영양소로서의 소모 등에 의하여 처리되는 것이다. 분뇨의 해양처리에 있어서 가장 큰 문제점은 세균이나 기생충과 같은 병원성 미생물의 오염과 부유성 협잡물에 의한 처리해역 주변의 미적 훼손이다. 우리나라에서 현재 시행중인 해양오염방지법 시행규칙 6조에 의하면 분뇨에 황산제일철 혹은 염화제일철을 0,1% 이상 혼합시키고 마쇄하여 선박의 항해중에 수중 깊이 지정해역에 배출하도록 하고 있다. 이러한 해양처리법은 병원성 미생물을 고려하지 않은 비위생적인 처리법이고 비자원적인 처리법이며 외관상의 미적인 사항만을 고려한 것이므로 분뇨의 해양처리시에는 협잡물의 제거를 위한 전처리만이 아니라 위생적인 1차처리공정을 적용시키는 것이 분뇨의 수산자원화 측면에서 바람직하다. 또한 수산생물에 있어서도 해역에 대한 무기성 응집제의 투입은 도움이 되지 아니하는 것이다.

이와 같이 위생적이고 생산적인 1차 처리 시스템에는 협잡물이 제거된 분뇨를 80℃까지 가열하여 살균하는 1차처리방법(그림 3)과 무회석 포기하는 1차처리방법(그림 4)이 있다. 분뇨의 해양처리를 위한 해양투기시설에는 수집분뇨의 협잡물을 제거하는 전처리시설과 저류조, 송

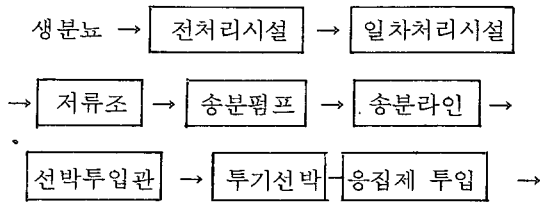


<그림 3> 분뇨의 해양처리를 위한 가열 살균 일차처리시스템

분펌프와 송분라인, 투기선박, 응집제 투입장치 및 투기장치 등으로 이루어지며, 이를 나타내어 보면 그림 5와 같다.



<그림 4> 분뇨의 해양처리를 위한 무회석포기 일차처리 시스템

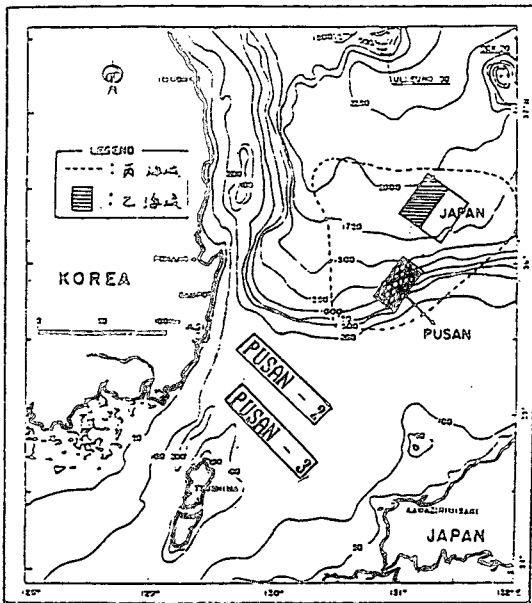


지정해역운송 → 투기

<그림 5> 분뇨의 해양처리 프로세스

4. 분뇨의 해양처리계획

해류의 순환측면에서 보면 동해에서의 분뇨해양처리는 아주 적절하다고 할 수 있으며, 빈영양상태인 동해는 분뇨해양처리의 최적해역이다. 우



<그림 6> 연안도시분뇨의 해양처리해역

리나라 동남해안의 연안도시인 부산시의 분뇨를 해양처리하는데 있어서 자연환경상 가장 적절한 해역은 부산에서 190 km 정도 떨어진 그림 6의 “병”해역인 “PUSAN”해역이다.

이러한 “병”해역은 해양오염방지법에서 규정한 법정해역인 30 km 밖의 “정”해역에 비하면 무려 6배나 먼 거리에 위치하고 있다. 또한 분뇨의 해양투기실험(부산위생, 1986)에 의하면 겨울철에는 부산깃점의 91 km 해역 및 여름철에는 52 km의 해역이면 적합하므로 여름철과 겨울철의 분뇨투기해역을 다르게 할 필요가 있다.

따라서 부산시의 분뇨를 해양처리하는데 있어서 자연환경적인 측면과 경제적인 측면을 동시에 고려하여 판단하여 보면, 부산으로부터 40 ~ 100 km 밖의 해역이 최적인 해역이라고 할 수 있다. 이를 계절별로 분류하여 보면 여름철에는 40 km 밖의 해역이고 봄철이나 가을철에는 60 km 밖의 해역이며 겨울철에는 80 km 밖의 해역이다. 이러한 해역(그림 6의 PUSAN-2와 PUSAN-3 해역)에 대하여 지정해역 환경영향 평가를 실시하고 투기해역을 세분적으로 또는 계절적으로 지정하여 분뇨를 해양처리할 수 있다.

우리나라에서 현재 유일하게 보유하고 있는 분뇨투기선인 해동 1호(부산위생주식회사 소유)에 의한 분뇨의 적정투기율 등을 산정하여 보면 다음과 같다.

- 1) 부산깃점 190 km 밖의 병해역
 - 운반선의 적재량 및 운항속도 : 약 1,000 Kℓ 및 10 노트
 - 월간 운항회수 : 30 회(1일 1회)
 - 월간 투기량 : 부산시 분뇨(88년도)의 55 % 처리 가능
 - 투기시의 적정운항속도 : 6 노트
 - 혼합수심 : 9 m
 - 투기율 : 0.3 ~ 0.6 m³/sec
 - 투기지속시간 : 30 ~ 60 분
- 2) 부산깃점 60 ~ 100 km의 정해역(PUSAN-2)
 - 왕복운항시간 : 7 ~ 11 시간
 - 분뇨선적시간 및 투기시간 : 각 30 ~ 60 분
 - 투기선의 1일운항회수 : 1 ~ 2 회

○ 분뇨의 적정투기율 : $0.3 \sim 0.6 \text{ m}^3/\text{sec}$
($1,000 \sim 2,000 \text{ m}^3/\text{hr}$)

○ 부산시 분뇨발생량의 100% 처리가능

○ 투기해역 지정필요 : 해역환경영향평가의 실시 요청됨(2~3억원 예상)

3) 부산깃점 40~60km의 정해역(PUSAN-3)

○ 왕복운항시간 : 5~6시간

○ 분뇨선적시간 및 투기시간 : 30분~60분 및 60~120분

○ 투기선의 1일운항회수 : 2~3회

○ 분뇨의 적정투기율 : $0.15 \sim 0.3 \text{ m}^3/\text{sec}$
($500 \sim 1000 \text{ m}^3/\text{hr}$)

○ 부산시 분뇨의 100% 이상 처리가능

○ 투기해역 지정필요 : 해역환경영향평가의 실시 요청됨(2~3억원 예상)

5. 분뇨의 해양처리비용

분뇨의 해양처리를 위하여서는 분뇨의 전처리 시설과 저류조 및 송분라인, 투기선박, 정박부두 등이 필요로 하게 된다. 이중에서 전처리시설과 저류조, 송분라인, 투기선의 접안시설 등은 신설되어야 하며, 분뇨의 투기선은 구입되어야 한다. 부산시의 경우에는 (주)부산위생에서 이미 한 척이 도입되어 있으므로 위탁운행이 가능한 것으로 판단된다. 하루 1000Kℓ의 분뇨를 화학적으로 처리하게 되면 Kℓ 당 26,000천원이 소요되어 260억원의 시설비가 필요로 하고 3년 이상의 공사기간도 소요되게 된다. 또한 유지관리비도 Kℓ 당 평균하여 약 13,000원(습식산화 : 16,000₩/Kℓ, 혐기성 소화 : 13,000₩/Kℓ, 호기성 소화 10,000₩/Kℓ)이 필요하여 연간 47억원이 소요되게 된다.

그러나 하루 1,000Kℓ의 분뇨를 해양처리하여 되면, 전처리시스템의 시설비 약 20억원 그리고 투기선의 접안시설비 약 20억원이 필요로 하게 된다. 또한 공사기간도 1년여 정도가 소요되며, 유지관리비는 전처리시스템과 선박운송비를 포함하여 월 25일 운항기준으로 7,500₩/Kℓ 정도이므로 연간 27억원이 소요되게 된다. 이러한 해양처리비는 (주)부산위생에서 제공한 자료를 이용하였으나 부산시의 자연산화식 분뇨처리장인 을

숙도 분뇨처리장의 유지관리비가 전처리시스템과 분선운송 및 중계펌프장의 비용을 포함하여 분뇨 Kℓ 당 2,000원(87년도 기준)이 소요되었으므로 분뇨의 해양처리비용 7,500₩/Kℓ은 타당하다고 사료된다.

6. 연안도시분뇨의 연계처리

우리나라의 동남해안에 자리잡은 연안도시도 주택개량사업에 의하여 생분뇨의 수거량은 감소하고 정화조오니의 수거량이 급증하고 있는 추세이다. 또한 대도시의 하수처리장 건설이 어느정도 진척되고 나면 중소도시의 하수처리장 건설이 본격화되게 될 것이다. 그러므로 우리나라 중소도시의 분뇨수거량도 2000년도에는 점차적으로 감소되리라고 생각된다. 이러한 분뇨 수거량의 감소경향에도 불구하고, 연안의 중소도시 분뇨처리장을 신설하거나 증설한다는 것은 무리가 따르게 된다. 따라서 연안에 위치한 동남해안 중소도시의 분뇨처리는 부산시의 분뇨해양 처리와 연계적인 시스템이어야 하는 것이다.

동남해안의 연안도시를 들어 보면 부산시(인구 380만), 창원시(22만), 마산시(48만), 울산시(60만), 진해시(13만), 김해시(9만), 장승포시(5만), 포항시(30만), 강릉시(15만), 동해시(10만), 속초시(8만) 및 삼척시(6만) 등 1개 직할시와 11개 시이며, 인구는 총 606만이다. 이들 도시에서 수거가능한 분뇨량은 약 3000Kℓ/d 정도라고 추정된다. 따라서 각 연안도시에 분뇨의 전처리시설과 투기선의 접안시설 및 분뇨의 저장조만 건설하게 되면, 부산시의 분뇨 투기선(적정선박수 : 2~3척)으로서도 우리나라 동남해안에 위치한 중소 연안도시의 분뇨를 모두 처리할 수 있는 것이다. 이러한 연계시스템은 국가적인 차원에서 연구하여 불 과제라고 생각된다.*

