

연안 양식장 퇴적물의 비료화를 위한 알카리 안정화 공법의 적용

김정배[†] · 최우정 · 이필용 · 김창숙^{*} · 이희정^{**} · 김형철
국립수산진흥원 환경관리과, ^{*}적조연구과, ^{**}위생가공연구실

Application of Alkaline Stabilization Processes for Organic Fertilizer of Coastal Sediments

Jeong Bae KIM, Woo Jeung CHOI, Pil Yong LEE, Chang Sook KIM^{*}

Hee Jung LEE^{**} and Hyung Chul KIM

Marine Environment Management Division

^{*}Harmful Algal Blooms Research Division

^{**}Sanitation and Processing Research Division, National Fisheries Research & Development Institute, Pusan 619-900, Korea

In an attempt to evaluate the fertilizer of sediments obtained from coastal farming areas, chemical composition, bacteriological quality and heavy metals in the sediments alkalinized by quicklime and magnesium hydroxide were analyzed. The optimum conditions of alkalization were also measured. A perfect reaction was possible by the addition of quicklime of 30% at the rate of 25% of sediment and 100% of livestock wastes. According to the classification standard for compost constituent by Higgins, all composts had the intermediate or high grade in T-N, K₂O, CaO and MgO, but below the low grade in P₂O₅. Stabilization by quicklime and magnesium hydroxide has been known to inhibit bacterial decomposition of organic matter and activity of pathogenic organisms. In this study, raising pH of stabilized sediments to 12 for 2 hours (PSRP criteria of EPA) allowed 99.9% of coliform group, fecal group and viable cell count to be reduced. As a result, sediments of coastal farming areas are likely to be used to produce the organic fertilizer by alkaline stabilization.

Key words: sediment, alkaline stabilization, organic fertilizer, livestock wastes

서 론

최근 우리나라의 연안해역은 육상으로부터 오염물질의 다량유입과 양식장 자가오염으로 인하여 부영양화가 급격히 진행되어 빈산소 수괴가 형성되고 있을 뿐만 아니라, 퇴적물로부터 영양염류의 용출량이 증가함에 따라 환경악화가 가속화되고 있는 실정이다. 특히, 양식어장으로 장기간 사용되고 있는 내만 해역의 해저 퇴적물은 각종 유기물의 다량 퇴적으로 연안 환경 악화 및 수산물 생산에 커다란 장애요인이 되고 있다 (이, 1997). 이에, 따라 오염된 해저 퇴적물을 정화 개선시키려는 연구들이 활발히 이루어지고 있다 (Murakami et al., 1998; Takeuchi, 1999). 최근까지 제시되고 있는 방법은 저서 미생물을 이용한 퇴적물 개선 방법을 비롯하여 경운 (tow), 준설 (dredge), 황토 및 석회 살포, 폭기 (aeration) 등의 물리화학적 방법들이 알려져 있으나, 현실적으로 크게 실용화되지 못하고 있다. 특히, 준설은 퇴적물개선 효과가 가장 뚜렷한 방법으로서 일부 항만 지역에서 실시되고 있으나, 경제적인 문제가 따를 뿐만 아니라 준설된 퇴적물을 해양투기 혹은 매립에 이용함으로써 또 다른 환경 문제를 유발시킬 우려가 있다. 즉, 퇴적물은 높은 수분과 유기물, 중금속과 같은 유해물질을 함유하고 있기 때문에 준설된 해저 퇴적물을 그대로 매립하거나 해양 투기할 경우 지하수 오염, 병원균 및 악취, 해양환경에 대한 2차적 오염 등의 문제를 발생시키게 된다.

한편, 오염된 퇴적물 혹은 하수 슬러지를 산업적으로 자원화 하기 위한 노력들이 이루어지면서, 생석회 (CaO)를 이용한 안정화 (lime stabilization) 공법과 Cement Kiln Dust (CKD)를 이용하여 화학반응을 촉진시키는 N-Viro Soil 공법 등이 개발되어 이용되고 있다 (USEPA, 1979; Yoo, 1994; USEPA, 1998). 또한, Jacobs et al. (1990)은 CKD를 이용하는 N-Viro Soil의 알카리 안정화 공법에 의한 유기성 폐기물, 분뇨, 계분 등을 매립지 복토재, 토지 개량제 및 비료로 활용화하였고, 노르웨이에서는 육상종묘 양어장에서 배출되는 농축 슬러지에 생석회를 첨가하여 농업용 비료로 이용하고 있다 (Bergheim and Cripps, 1998). 따라서 본 연구에서는 중금속 등 유해물질의 농도가 낮고 유기물 함량이 높은 양식장 퇴적물을 자원화하기 위한 방안으로서 해저퇴적물을 농업용 비료로 활용하는 방법을 개발하는 일련의 연구 중, 일차적으로 퇴적물에 생석회 및 축산분뇨를 첨가하여 완효성 비료를 제조하였으며, 그러한 비료의 제조 과정과 성상에 대하여 보고하고자 한다.

재료 및 방법

시료수집 및 조비료 제조공정

퇴적물은 2000년 2월에 Fig. 1과 같이 진해만에서 채취하여 정치 후 상등액을 제거하는 탈수과정을 거쳤으며, 축산분뇨는 김해 한림면 안곡리의 축산농가에서 수집하였다. 시료는 먼저 퇴적물과 축산분뇨를 건중량으로 1 : 4의 비율로 혼합한 것 (A시료)과 1 : 1.2의 비율로 혼합한 것 (B시료, 습중량 1 : 4)을 준비하였다. 첨가제 투여는 건중량을 기준으로 생석회의 경우 30% 및 60%와 생석회+

[†]Corresponding author: jbkim@nfrda.re.kr

수산화마그네슘 (Mg(OH)₂)의 경우 15% + 150% 및 30% + 300%를 알카리 안정화 반응기에 각각 투입하여 교반시켰다. 알카리 안정화 반응시간은 5분으로 하였고, 반응된 시료는 자연상태에서 일정기간 건조시켜 조비료로 사용하였다. 조비료의 제조과정은 Fig. 2에 나타내었다.

조비료 성분분석 및 안전성 검사

pH는 증류수와 1 : 5의 비율로 진탕한 다음 거름종이로 여과하여 pH meter (IQ240, IQ scientific Instruments)로 측정하였다 (조 등, 1987). 유기물은 잘 건조된 시료를 550°C에서 2시간 회화시킨 후 건조 조비료에 대한 무게차로 측정하였다. 중금속 분석은 건조된 시료를 질산 및 과염소산으로 산분해시켜 구리 (Cu), 납 (Pb) 및 아연 (Zn)은 불꽃원자흡광도계 (Varian spectra AA55)로 분석하였으며, 카드뮴 (Cd) 및 크롬 (Cr)은 흑연로 원자흡광도계 (GFAAS Varian spectra 880)을 이용하여 matrix effect를 배제하기 위하여 표준첨가법을 사용하여 정량하였으며, 퇴적물 표준물질 (SMR, PACS-2 and MESS-2)의 회수율은 90%를 상회하였다. 또한 T-N, P₂O₅, K₂O, CaO 및 MgO는 비료의 품질검사 방법 및 시료 채취기준에 따라 분석하였다 (농업과학기술원, 1996). 조비료의 안전성을 검사하기 위한 대장균군, 분변계 대장균 및 생균수 (35°C, 2일 배양)의 분석은 AOAC (1992)에 준하여 측정하였다.

결과 및 고찰

유기질 조비료의 성분평가

제조된 유기질 조비료의 성분을 평가하기 위하여, 일차적으로 퇴적물과 축산분뇨를 건중량비로 혼합시킨 후 비료 성분을 조사하였다 (Table 1). A시료의 경우 비료의 3대 영양소인 질소, 인산,

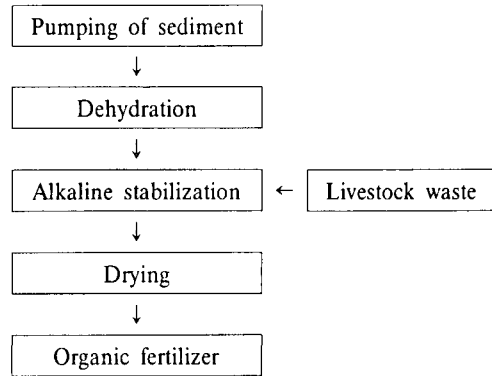
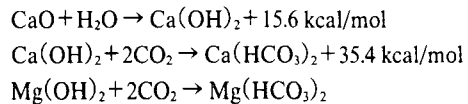


Fig. 2. Flow sheet for the alkaline stabilization of sediment.

칼륨성분은 각각 2.65%, 2.65%, 2.54%로 나타났고, 합계는 7.84%이었다. 또한 B시료의 경우 비료3대 영양소의 합계는 6.71%이었다. 혼합 시료의 유기물 함량은 53.2~66.6%로 퇴적물 자체의 유기물 함량 9.5%보다 월등히 높았다. Table 1의 결과는 준설되는 해저 퇴적물이 비료로 사용될 수 있음을 제시하고 있다.

한편, 퇴적물과 축산분뇨를 불완전 처리 또는 그대로 토양에 직접 투여할 경우에는 많은 문제점이 유발될 뿐만 아니라 취급시 혐오감을 초래시킨다 (Choi and Yoo, 1998). 따라서 퇴적물과 축산분뇨 혼합물에 첨가제인 생석회 (CaO) 및 수산화 마그네슘 (Mg(OH)₂)을 투여하여 알카리 안정화를 유도하였다. 알카리 안정화 과정 중에는 아래 식과 같은 화학반응이 일어나는데, 이때 생기는 반응열과 강알카리성 (pH 12)은 퇴적물내의 병원균을 사멸시킬 뿐만 아니라 중금속 용출을 억제시키고, 무기 영양성분들의 손실을 줄이는 것으로 알려져 있다 (WEF, 1992; Kim and Choi, 1995; Park, 2000).



알카리 안정화제인 생석회와 Mg(OH)₂을 투여하여 안정화시킨 혼합물의 비료 성분은 Table 2와 같다. 생석회 30% 투여 혼합물에 비하여 60%가 첨가된 시료에서는 칼슘함량이 증가하였으나, 과잉의 생석회 투여로 건조 전 (12.4 및 12.5)과 건조 후 (12.1)에 pH는 거의 변화가 없었으며, 비료의 3대 영양소는 감소하는 경향을 보였다. 생석회와 수산화 마그네슘을 혼합 첨가하여 알카리 안정화시킨 유기질 비료에서도 마그네슘은 증가하였으나, 나머지 영양성분들은 수산화 마그네슘이 증가할수록 감소하였다. 첨가제의 투여량에 따른 혼합물내의 3대 영양소 함량변화는 Fig. 3과 같다. Table 2와 Fig. 3의 결과는 해저퇴적물과 축산분뇨를 건 중량비 1 : 4로 혼합된 시료에 생석회 30%를 투입했을 때가 최적의 비료 조건임을 보여준다. 이 결과는 축산분뇨에 생석회를 30% 투입하여 축산분뇨를 안정화시킨 Kim and Choi (1995)의 결과와도 일치하였다. 또한, 비료의 영양분에 대하여 Higgins의 퇴비성분 분류기준으로 제조된 퇴적물의 조비료를 평가하면 다음과 같다 (Higgins, 1984). 질소 (T-N) 성분을 기준으로 할 때 고급비료는 3.0% 이상, 중급

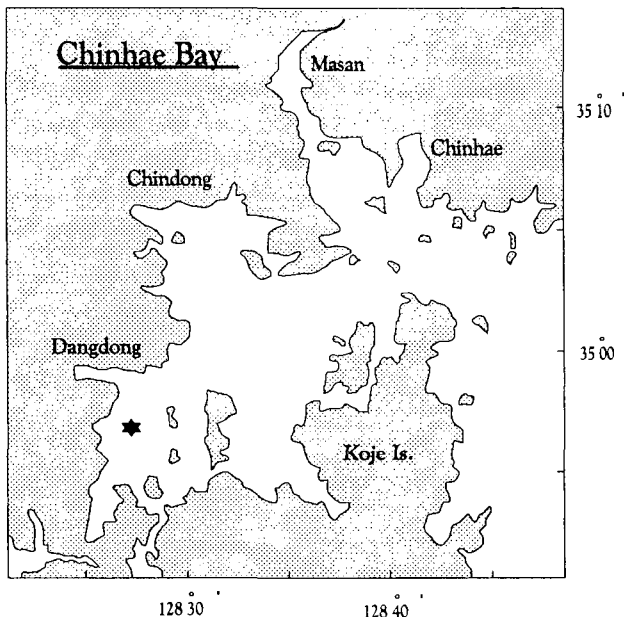


Fig. 1. Map showing the location of Chinhae Bay and sediment-pumped site.

Table 1. Chemical characteristics of the sediment and livestock waste

Description	Sediment	Livestock Waste	Sample Type	
			A ¹⁾	B ²⁾
pH	7.05	6.90	7.01	6.74
T-N (%)	0.27	4.25	2.65	1.85
P ₂ O ₅ (%)	- ³⁾	-	2.65	2.03
K ₂ O (%)	-	-	2.54	2.83
CaO (%)	-	-	2.04	1.81
MgO (%)	-	-	2.85	2.03
Organic material (%)	9.50	73.9	66.6	53.2

¹⁾ A; Sediment: Waste (1 : 4, dry weight)
²⁾ B; Sediment: Waste (1 : 1.2, dry weight=1 : 4, wet weight)
³⁾ Not tested
 Data are average of triplicate measurements

Table 2. Chemical characteristics of the crude fertilizer

Description	Sample Type	Treatment			
		CaO (30%)	CaO (60%)	CaO+Mg(OH) ₂ (15%+150%)	CaO+Mg(OH) ₂ (30%+300%)
pH	A	9.7	12.1	9.43	9.63
	B	10.4	12.1	9.50	9.59
T-N (%)	A	2.09	1.55	1.16	0.77
	B	1.60	1.55	1.14	0.70
P ₂ O ₅ (%)	A	2.33	1.50	1.13	0.92
	B	1.69	1.54	1.01	0.83
K ₂ O (%)	A	2.17	2.03	1.45	0.93
	B	2.27	1.98	1.11	0.89
CaO (%)	A	16.8	23.9	5.42	5.37
	B	15.2	22.0	5.40	5.59
MgO (%)	A	2.19	2.03	31.0	39.4
	B	1.78	2.05	28.8	37.6
Organic material (%)	A	47.3	30.4	41.8	35.2
	B	40.2	31.2	37.9	33.6

Data are average of triplicate measurements

비료 1.5~3.0%, 저급비료 0.1~1.5%로 평가되는데 생석회 30%와 60%를 각각 첨가하여 알카리 안정화시킨 퇴적물의 조비료는 중급비료에 속했으며, 생석회와 수산화 마그네슘을 병행 사용하였을 때에는 저급 비료로 평가되었다. 인산 (P₂O₅) 성분의 기준을 보면 고급비료 4.6% 이상, 중급비료 2.3~4.6%, 저급비료 1.2~2.3%로 생석회 단독 및 수산화 마그네슘을 병행 사용하였을 때의 모든 처리구가 저급 비료에 속하였다. 칼륨 (K₂O) 성분의 기준을 보면 고급비료 0.72% 이상, 중급비료 0.36~0.72%, 저급비료 0.05~0.36%로 모든 처리구가 고급비료에 속하였다. 또한, 칼슘 및 마그네슘 성분의 기준을 보면 칼슘 (CaO)은 고급비료 4.9% 이상, 중급비료 2.10~4.90%, 저급비료 0.84~2.10%이고, 마그네슘 (MgO)은 고급비료 0.66% 이상, 중급비료 0.41~0.66%, 저급비료 0.17~0.41%로

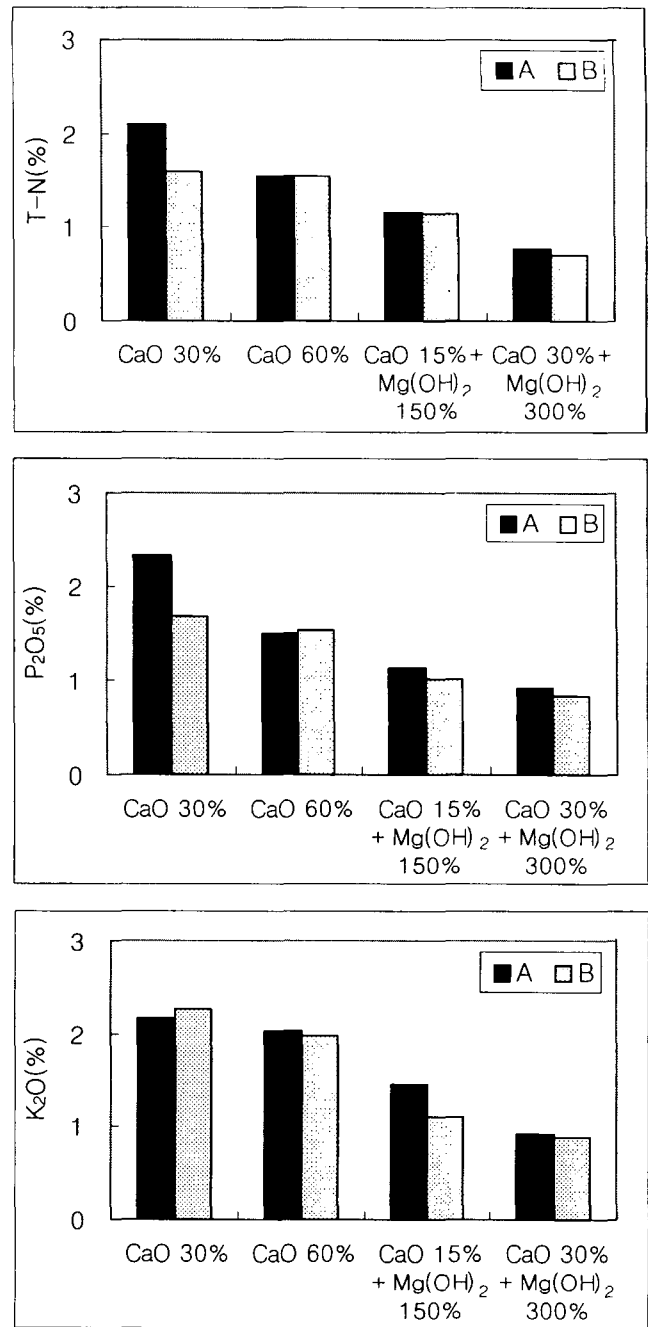


Fig. 3. Changes in T-N, P₂O₅ and K₂O of crude fertilizer as function of the alkalinization.

평가되는데 칼슘 및 마그네슘의 모든 처리구가 고급비료에 속하였다. 이상에서 보면 제조된 퇴적물의 조비료는 질소 및 칼륨성분으로는 중급내지는 고급비료로 평가되었으며, 칼슘과 마그네슘을 기준으로 할 때는 고급비료에 속하였다.

중금속 함량변화

양식장 해저퇴적물의 중금속 농도는 Table 3과 같다. 구리 (Cu) 농도는 34.5 mg/kg로 울산연안, 온산연안, 부산연안, 행암만, 진해

만 및 거제도 동안 해역의 퇴적물 중 구리농도 (21.3~64.4 mg/kg)와 유사하였으나, 카드뮴 (Cd) 농도는 이들 해역보다 약 1/3~1/9로 나타났다 (진 등, 2000). 납 (Pb)은 27.0 mg/kg로 지각 내 평균농도인 12.5 mg/kg (Taylor, 1964)와 연안역 니질 내 평균농도인 20 mg/kg와 유사한 농도 분포를 보였다 (Chester and Aston, 1976). 아연 (Zn)은 10.1 mg/kg를 나타내었는데, 이는 연안역 니질 내 평균농도인 95 mg/kg보다 낮은 값이었다 (Chester and Aston, 1976). 한편, 축산분뇨 중의 구리 농도는 638 mg/kg로서 Kim and Choi (1995)가 얻은 결과인 455 mg/kg보다 높게 나타났다.

유기성 폐기물을 직접 토양에 투입할 경우에는 폐기물내의 중금속 성분들이 토양을 오염시킬 뿐만 아니라 작물의 대사과정을 통해 체내에 축적되므로 인체에도 피해를 유발시키게 된다 (임, 1982). 따라서 폐기물 중의 중금속에 의한 이차적 문제를 최소화시키기 위한 방안으로서 폐기물의 안정화 방법을 흔히 사용한다 (Back and Lim, 1997). 퇴적물과 축산분뇨를 건중량 1 : 4로 혼합하여 알카리 안정화 반응 전·후 시료의 중금속 농도를 보면 Cu가 318 mg/kg에서 91.0~254 (평균 170) mg/kg으로, Pb이 5.42 mg/kg에서 3.74~13.7 (평균 8.87) mg/kg으로, Cr이 21.1 mg/kg에서 8.06~14.9 (평균 12.3) mg/kg으로, Cd이 0.43 mg/kg에서 0.18~1.62 (평균 0.92) mg/kg으로, Zn이 395 mg/kg에서 108~258 (평균 188) mg/kg으로 반응 전에 비해 알카리 반응 후 각각의 중금속 농도는 Choi and Yoo (1998)에서와 같이 조비료 내에 포획되거나 희석되어 감소하는 것으로 나타났다(Table 3과 Table 4). 또한 B시료의 경우도 생석회 및 수산화 마그네슘을 첨가하여 안정화시킨 후에는 중금속 함량이 조비료 내에 포획되거나 희석되어 반응 전에 비하여 감소하였다.

유기질 비료의 중금속 농도를 비료 관리법으로 규제하고 있는데 퇴비의 경우 중금속 농도 기준치는 구리 500 mg/kg, 납 150 mg/kg, 크롬 300 mg/kg, 카드뮴 5 mg/kg 이하로 규제하고 있다 (농업과학기술원, 1996). Table 4의 결과와 같이 알카리 안정화 반응을 마친 퇴적물 조비료의 중금속 농도는 퇴비기준을 만족시켰다. 중금속의 존재형태 중 전이금속의 경우 철 산화물이나 망간 산화물에 강하게 결합하고 있고, 카드뮴, 구리, 아연과 같은 양이온들은 단일용질로 존재하기보다는 다른 금속이나 고농도의 Ca²⁺나 Mg²⁺ 등과 같은 알카리 토금속들과 결합하는 경향을 갖는다 (Christina et al., 1991). 즉, 낮은 농도의 중금속 이온들은 토양과 단단히 결합하므

Table 3. Contents of heavy metal of the sediment and livestock waste

Elements (mg/kg)	Sediment	Livestock Waste	Sample Type	
			A	B
Cu	34.5	638	318	139
Pb	27.0	3.60	5.42	9.05
Cr	87.6	15.1	21.1	49.9
Cd	0.32	0.88	0.43	0.21
Zn	10.1	430	395	346

Sample conditions were same as in Table 1
Data are average of triplicate measurements

Table 4. Contents of heavy metal of the alkalinized crude fertilizer

Elements (mg/kg)	Sample Type	Treatment			
		CaO (30%)	CaO (60%)	CaO+Mg(OH) ₂ (15%+150%)	CaO+Mg(OH) ₂ (30%+300%)
Cu	A	254	194	142	91.0
	B	123	94.7	126	44.9
Pb	A	6.53	3.74	11.5	13.7
	B	7.53	6.48	3.41	2.77
Cr	A	13.6	14.9	12.7	8.06
	B	35.4	31.5	19.2	10.5
Cd	A	0.41	0.18	1.47	1.62
	B	0.20	0.25	1.29	1.31
Zn	A	258	227	160	108
	B	313	262	177	125

Data are average of triplicate measurements

로 지하수를 오염시키지도 않으며, 작물에 의해 섭취되지도 않는 상태가 된다 (Vesilind, 1979). 또한, 유기질 비료를 토양에 주입 시 토양의 pH는 비료의 탄산칼슘 (CaCO₃) 함량과 분해과정에서 생성되는 산의 양에 의하여 좌우되고 (Sommers, 1980), 토양 pH가 1 증가하면 아연과 구리의 활동도가 100배 감소한다는 보고 (Epstein and Chaney, 1978)를 볼 때 본 연구에서 제조된 조비료와 같이 약 알카리성 하에서 건조된 유기질 비료를 토양에 사용하면 중금속에 의한 작물체의 위험은 없을 것으로 사료된다.

대장균군, 분변계 대장균 및 생균수 변화

퇴적물과 축산분뇨의 혼합물과 알카리 안정화 된 조비료 내의 대장균군 및 분변계 대장균 수는 각각 1.7~4.9×10⁶ MPN/100 g, 1.3~4.9×10⁶ MPN/100 g이었으며, 생균수는 1.3~2.4×10⁸g이었다 (Table 5). 알카리 안정화 처리 후의 대장균군 및 분변계 대장균은 검출되지 않았으며, 생균수는 2.0~8.0×10³/g으로 감소하였다. 이 결과는 알카리 안정화 과정의 열, 가스 및 강알카리성에 기인한 것으로 여겨지며, 수산화 마그네슘도 영양분의 보강제 측면에서 사용될 수 있음을 보여 주었다. Kim and Choi (1995)에 의하면 축산분뇨내의 대장균군 및 생균수는 각각 2.3×10⁵ MPN/100 g 및 5.0×10⁵/g이었으나, 알카리 처리 후 대장균군 및 생균수는 각각 1.3×10³ MPN/100 g 및 1.0×10⁴/g으로 감소되는 것으로 나타났다. 따라서 본 비료제조 공정은 대장균 등의 미생물 살균효과가 탁월함을 보여 주는데, 이는 제조된 퇴적물 조비료의 안정성이 높음을 제시한다.

또한, 조비료 내의 병원균에 의한 안정성을 미국 EPA (Environmental Protection Agency)의 PSRP (Process to Significantly Reduce Pathogens)를 적용시켜 보면 알카리 안정화 반응물은 pH 12 이상으로 2시간 이상 지속되어야 한다 (Farrell et al., 1974; USEPA, 1979; USEPA, 1999). 본 연구에서 알카리 안정화 된 조비료 내의 pH는 Table 6과 같이 반응직후 및 2시간 지남 뒤 pH 변화를 측정하여 본 결과 12.1~12.5로서 pH 변화는 없는 것으로

Table 5. Bacteriological quality of the alkalinized crude fertilizer

Treatment	Sample Type	Compost	MPN/100 g		Viable cell count/g 35°C
			Coliform group	Fecal Coliform	
Sediment Sample	A		4.9×10 ⁶	4.9×10 ⁶	1.3×10 ⁸
	B		1.7×10 ⁶	1.3×10 ⁶	2.4×10 ⁸
Alkaline Stabilization	A	CaO 30%	<18 ¹⁾	<18	3.0×10 ³
		CaO 60%	<18	<18	5.0×10 ³
		CaO+Mg(OH) ₂ (15%+150%)	<18	<18	8.0×10 ³
		CaO+Mg(OH) ₂ (30%+300%)	<18	<18	2.0×10 ³
	B	CaO 30%	<18	<18	5.4×10 ³
		CaO 60%	<18	<18	4.5×10 ³
		CaO+Mg(OH) ₂ (15%+150%)	<18	<18	6.2×10 ³
		CaO+Mg(OH) ₂ (30%+300%)	<18	<18	3.5×10 ³

¹⁾Median value

Data are average of triplicate measurements

나타났고, 5개월이 지난 뒤에도 크게 차이를 보이지 않아 pH는 일정기간 지속되어 미국의 EPA기준을 만족하였다. 이것은 한국 과학기술원 (1991)의 결과에서도 나타나는데 안정화 처리 후 4일이 경과한 경우 약 90%의 대장균 살균효과가 있었으며, 그밖에 안정화 처리 전에 검출되었던 기생충과 일부 세균은 안정화 처리 후에는 전혀 검출되지 않은 결과와 비슷한 경향이었고, 생석회 주입에 의하여 상승된 pH는 실험 후 10개월이 지나도 pH 11~12로 유지되었다 (Choi and Yoo, 1998).

이상의 결과들은 유기물을 다량 함유한 양식장 퇴적물을 자원화 하기 위한 방안으로서 양식장 해저퇴적물에 생석회 및 축산분뇨를 첨가하여 완효성 비료로 제조하여 농업용 비료로서 활용할 수 있을 가능성이 높다는 것을 나타내며, 활용가치는 추후 현장작물 성장을 통하여 검토되어야 할 것으로 생각된다.

요 약

알카리 안정화방법에 의거하여 양식장 퇴적물을 농업용 유기질 비료로 사용하기 위한 기초연구로서 제조과정에 따른 비료의 유효성분 및 중금속농도를 분석하고, 비료의 유해성 여부를 평가하였다. 퇴적물과 축산분뇨 혼합물 및 첨가제의 양을 달리하여 비료를 제조한 결과 생석회 30% 첨가시 건중량비 1:4 이었을 때가 최적의 반응조건 이었다. 또한, 알카리 안정화제로서 수산화 마그네슘도 영양분의 보강제 측면에서 사용될 수 있음을 보여 주었다. 제조된 퇴적물 조비료는 질소 및 칼륨 함량을 기준으로 할 때 중급 내지 고급 비료로 평가되었으며, 칼슘과 마그네슘의 함량은 고급 비료에 속하였다. 이상의 결과들은 알카리 안정화 방법으로 양식장 퇴적물을 유기질 비료로 전환 생산할 수 있음을 제시한다. 또한

Table 6. Contents of pH of the alkalinized crude fertilizer

Description	Sample Type	pH			
		CaO (30%)	CaO (60%)	CaO+Mg(OH) ₂ (15%+150%)	CaO+Mg(OH) ₂ (30%+300%)
after reaction	A	12.2	12.4	12.3	12.3
	B	12.3	12.5	12.1	12.2
2 hours	A	12.2	12.4	12.2	12.3
	B	12.3	12.4	12.1	12.1
5 months	A	12.2	12.4	12.2	12.3
	B	12.3	12.4	12.0	12.1

Data are average of triplicate measurements

알카리 안정화에 의해 제조된 비료내의 중금속 및 병원성균에 의한 유해성은 없는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구를 수행함에 있어 도움을 주신 국립수산진흥원 김평중님께 감사드리며, 좋은 논문이 되도록 날카로운 지적을 해주신 한국해양연구소 양동범, 김경태 박사와 익명의 심사위원님께 감사의 말씀을 전합니다. 이 연구는 국립수산진흥원 경상 연구과제인 연안어장 적정환경 관리기술 연구의 일부로 수행되었음을 밝힙니다.

참 고 문 헌

Association of official Agricultural Chemists. 1992. Bacteriological analytical manual. 7th ed. AOAC. Arlington, VA, pp. 17~166.

Back, U.H. and N.W. Lim. 1997. Effect of the pozzolanic diatomite on stabilization of heavy metals contained in leather sludge. J. Korea Solid Wastes Eng. Soc., 14, 159~165 (in Korean).

Bergheim, A. and S.J. Cripps. 1998. Effluent treatment and sludge processing on Norwegian land-based fish farms. Recirc. Today, 1, 17~19.

Chester, R. and S.R. Aston. 1976. The geochemistry of deep-sea sediments. In *Chemical Oceanography*, Vol. 6, J.P. Riley and R. Chester, eds. Academic Press, London, pp. 281~390.

Choi, E.S. and K.T. Yoo. 1998. Applicability of dewatered sewage sludge as landfill cover material or soil conditioner. J. KSWQ, 14, 331~337 (in Korean).

Christina, E.C., M.Z. John and T.R. Charles. 1991. Cadmium adsorption on iron oxides in the presence of alkaline-earth elements. Environ. Sci. & Technol., 25, 437~446.

Epstein, E. and R.L. Chaney. 1978. Land disposal of toxic substance and water-related problems. JWPCF, 50.

Farrell, J., J. Smith, S. Hathaway and R. Deanl. 1974. Lime stabilization of primary sludge. JWPCF, 46, 113~122.

Higgins, A.J. 1984. Management techniques for minimizing risk of sludge and compost use, Managing sludge by composting. The JG Press. Emmaus. 229pp.

Jacobs, A. and M. Silver. 1990. Sludge Management at the Middlesex County Utilities Authority. Water Sci. Technol., 22, 93~106.

Kim, H.C. and Y.S. Choi. 1995. A study on the lime stabilization of

- livestock waste. J. Kor. Soc. Ana. Sci., 8, 91~99 (in Korean).
- Murakami, K., Y. Hosokawa and S. Talano. 1998. Monitoring on bottom sediment quality improvement by sand capping in Mikawa bay. Bull. Coastal Oceanogr., 36, 83~89 (in Japanese).
- Park, J.R. 2000. The optimum dosage of calcined lime to swine wastes in organic fertilizing process. ME Thesis, Pukyong Nat'l Univ., Pusan (in Korean).
- Sommers, L.E. 1980. Toxic metals in agricultural crops. In *sludge health risks of land application*, B. Gabrielle, ed. Ann arbor science publishers, Inc., Ann arbor, Michigan.
- Takeuchi, T. 1999. Possibility of water quality improvement works for environmental conservation in water areas. Bull. Coastal Oceanogr., 36, 131~135 (in Japanese).
- Taylor, S.R. 1964. Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. Geochim. Cosmochim. Acta, 28, 1274~1285.
- USEPA. 1979. Process design manual sludge treatment and disposal. Technology transfer. EPA 625/1-79-011.
- USEPA. 1998. Technical Background Document: Compliance cost estimates for the proposed land management regulation of cement kiln dust. Office of solid waste, Washington, D.C., April, 1998.
- USEPA. 1999. Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge. Environmental regulations and technology, EPA/625/R-92/013.
- Vesilind, P.A. 1979. Ultimate disposal on land; Treatment of wastewater sludge, Ann arbor science publishers, Inc., Ann arbor, Michigan. pp. 265~290.
- WEF. 1992. Design of municipal wastewater treatment plants. MOP, 8, 1361~1378.
- Yoo, K.T. 1994. Lime stabilization of sewage biosolids. ME Thesis, Korea Univ., Seoul (in Korean).
- 농업과학기술원. 1996. 비료의 품질검사방법 및 시료 채취기준. 193pp.
- 이필용. 1997. 내만 양식장 퇴적물중의 유기물 농도분포특성과 양식어의 환경개선. 해양수산자원 배양에 관한 연구자 협의회 논문집 II. 해외어업협력재단. pp. 450~454.
- 임선옥. 1982. 식물영양·비료학. 일신사. 446pp.
- 조성진, 박천서, 엄대익. 1987. 토양학. 향문사. 396pp.
- 진현국, 이필용, 최희구, 김숙양, 김정배, 김평중, 김상수, 박정훈, 허 승. 2000. 해양오염추정량 및 연안유해오염물질 동태연구. 국립수산진흥원사업보고서. pp. 331~347.
- 한국과학기술원. 1991. 전국 축산분뇨 적정관리대책 연구. 145pp.

2000년 9월 16일 접수

2000년 11월 11일 수리