

연안 양식장 퇴적물을 이용한 비료화 가능성 연구

김 정 배 · 이 필 용 · 김 창 숙* · 손 광 태** · 김 형 철
국립수산진흥원 환경관리과, *적조연구과, **위생가공연구실
(2001년 3월 18일 접수)

Feasibility Study of Producing an Organic Fertilizer using Sediments from Coastal Farming Areas

Jeong-Bae Kim, Pil-Yong Lee, Chang-Sook Kim*, Kwang-Tae Son**,
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
(Manuscript received 18 March, 2001)

In an attempt to evaluate the possibility of producing an organic fertilizer using sediments from coastal farming areas, the chemical composition, bacteriological quality and heavy metals in the sediments alkalinized by quicklime and magnesium hydroxide were analyzed. The optimum reaction was obtained from the following conditions : a 1:4 mixture of dry sediment to food wastes and the addition of 30% quicklime to the mixture. According to the classification standard for compost constituent by Higgins, all composts had a low or intermediate grade in T-N and K_2O content, a low grade in P_2O_5 and a high grade in CaO and MgO content. Stabilization by quicklime and magnesium hydroxide is likely to inhibit the bacterial decomposition of organic matter and the activity of pathogenic organisms. Raising the pH of stabilized sediments to 12 for 2 hours(PSRP criteria of EPA) allowed 99.99% of the coliform group, fecal group and viable cell count to be reduced. The results suggested that the crude fertilizer produced by alkaline stabilization method was innocuous and thereby the sediments from coastal farming areas could be used as organic fertilizer.

Key words: Sediment, Alkaline stabilization, Organic fertilizer, Food waste

1. 서 론

최근 우리나라의 연안해역은 육상으로부터 오염물질의 다량유입과 양식장의 자가오염으로 인하여 빈산소 수괴가 형성되고, 영양염류의 용출량 증가로 부영양화가 가속화되어 적조 발생과 같은 2차적인 문제가 발생하고 있다. 특히, 양식장 퇴적물은 어패류의 배설물 등에 의한 유기물의 다량 퇴적으로 연안 환경 악화를 초래하는 주원인이 되고 있으며, 수산물 생산에 커다란 장애요인이 되고 있다. 그러나 최근 UN해양법이 선포되고, 연안해역의 효율적 관리와 이용 측면에서 자연자원의 이용개발과 연안해역을 효율적으로 관리·보전할 수 있는 방안마련을 위한 연구의 필요성이 제기되면서 오염된 해저 퇴적물을 정화 개선시키려는 연구들이 활발히 이루어지고 있다.^{1,2,3,4)} 최근까지 제시되고 있는 퇴적물 정화 방법으로는 저서 미생물을 이용하는 생물 공학적 방법을 비롯하여 경운, 준설, 황토 및 석회 살포, 폭기, 모래피복 등의

물리화학적 방법들이 알려져 있으나, 현실적으로 크게 실용화되지 못하고 있다. 특히, 준설은 퇴적물개선 효과가 가장 뚜렷한 방법으로서 일부 항만 지역에서 실시되고 있으나, 준설된 퇴적물을 해양투기 혹은 매립에 의존할 경우 높은 수분과 유기물, 중금속과 같은 유해물질을 함유하고 있기 때문에 병원균 및 악취 유발, 지하수 및 해양환경에 대한 2차적 오염 등의 문제를 발생시킬 우려가 있다.

한편, 오염된 퇴적물 혹은 하수 슬러지를 산업적으로 자원화 하기 위한 노력들이 이루어지면서, 생석회(CaO)를 이용한 안정화(lime stabilization)공법, 규산염 복합체(complex silicate)를 이용한 Chemifix공법 및 Cement Kiln Dust(CKD)를 이용하여 화학반응을 촉진시키는 N-Viro Soil 공법 등이 개발되어 이용되고 있다.^{5,6,7)} 예컨대, Jacobs and silver⁸⁾는 CKD를 이용하는 N-Viro Soil의 알칼리 안정화 공법에 의한 유기성 폐기물, 분뇨,

계분 등을 매립지 복토재, 토저개량제 및 비료로 활용하였고, 노르웨이에서는 육상종묘 양어장에서 배출되는 농축 슬러지에 생석회를 첨가하여 농업용 비료로 이용하고 있다.⁹⁾ 국내에서는 축산분뇨에 생석회를 첨가하여 안정화된 농업용 비료제조에 대한 연구를 비롯하여 제강전로 슬래그를 이용한 하수소화 슬러지의 복토재 활용 및 연안 양식장 퇴적물의 비료화 연구가 진행되고 있다.^{4,10,11)}

본 연구에서는 중금속 등 유해물질의 농도가 낮고 유기물 함량이 높은 양식장 퇴적물을 자원화하기 위한 방안으로서 해저퇴적물을 농업용 비료로 활용하는 방법을 개발하는 일련의 연구 중, 퇴적물에 생석회 및 남은 음식물을 첨가하여 완효성 조비료를 제조하였기에 조비료의 제조 과정과 성상에 대하여 보고하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 시료수집 및 조비료 제조과정

해저 퇴적물은 2000년 2월에 진해만에서 채취하여 정지 후 상등액을 제거하는 탈수과정을 거쳤으며, 남은 음식물은 부산광역시 해운대구 송정동의 5개 음식점에서 수집하여, 자연상태에서 탈수후 시료로 사용하였다. 이러한 퇴적물 및 남은 음식물의 특성은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Chemical characteristics of the sediment and food waste

Description	Sediment	Food Waste
pH	7.05	4.02
T-N(%)	0.27	3.94
Cu(mg/kg)	34.5	5.99
Pb(mg/kg)	27.0	3.84
Cr(mg/kg)	87.6	1.42
Cd(mg/kg)	0.32	0.25
Organic material(%)	9.50	91.8

Data are average of triplicate measurements

시료는 퇴적물과 남은 음식물을 건중량비 1:4로 혼합한 것(A시료)과 1:1.9로 혼합한 것(B시료, 습중량 1:4)을 준비하였다. 첨가제로 생석회 및 수산화 마그네슘을 사용하는데 생석회는 알칼리 안정화의 화학반응시 반응열(51kcal/mol)과 강알칼리성(pH 12)이 퇴적물내의 병원균을 사멸 및 중금속 용출을 억제시키며, 무기 영양성분들의 손실을 줄이기 위하여 사용하며, 수산화 마그네슘은 비료로 사용시 마그네슘이 부족하여 낡은 잎의 입맥 사이에 황화현상(chlorosis) 및 과실이 열린 부근의 잎에 결핍이 일어나기 쉬우므로 생석회 대체 및 비료보강제 측면에서 사용한다. 투입은 건중량을 기준으로 생석회의 경우 30% 및 60%와 생석회 + 수산화 마그네슘 [Mg(OH)₂]의 경우 15% + 150% 및 30% + 300%를 알칼리 안정화 반응기에 각각 투입하여 교반 시켰으며, 이때, 생석회 및 수산화 마그네슘의 함량은 95% 이상인 분말을 사용하였다. 알칼리 안정화 반응시간은 5분으로 하였고, 반응된 시료는 자연상태에서 일정기간 건조시켜 조비료로 사용하였다. 조비료의 제조과정은 Fig. 1에 나타내었다.

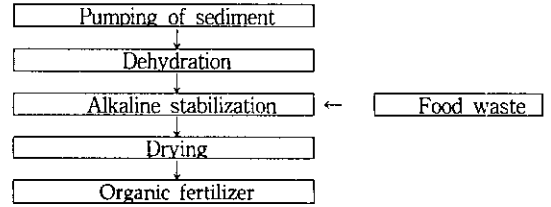


Fig. 1. Flow sheet for the alkaline stabilization of sediment.

2.2. 조비료 성분분석 및 안전성 검사

유기물은 잘 건조된 시료를 550°C에서 2시간 회화시킨 후 건조 조비료에 대한 무게차로 측정하였으며, pH는 증류수와 1:5의 비율로 진탕한 다음 거름종이로 여과하여 pH meter(IQ240, IQ scientific instruments)로 측정하였다.¹²⁾ 중금속 분석은 건조된 시료를 질산 및 과염소산으로 산분해시켜 구리(Cu), 납(Pb) 및 아연(Zn)은 불꽃 원자흡광광도계(Varian spectra AA55)로 분석하였으며, 카드뮴(Cd) 및 크롬(Cr)은 흑연로 원자흡광도계(GFAAS Varian spectra 880)를 이용하여 분석하였다. 또한 T-N, P₂O₅, K₂O, CaO 및 MgO는 비료의 품질검사 방법 및 시료 채취기준에 따라 분석하였다.¹³⁾ 조비료의 안전성을 검사하기 위한 대장균군, 분변계 대장균 및 생균수(35°C, 2일 배양)의 분석은 AOAC¹⁴⁾에 준하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 유기질 조비료의 성분평가

제조된 유기질 조비료의 성분을 평가하기 위하여, 일차적으로 퇴적물과 남은 음식물을 건중량비로 혼합시킨 후 조비료 성분을 조사하였다(Table 2).

Table 2. Chemical characteristics a mixture of the sediment and food waste

Description	Sample Type	
	A ¹⁾	B ²⁾
pH	4.18	4.10
T-N(%)	2.03	1.98
P ₂ O ₅ (%)	0.27	0.43
K ₂ O(%)	0.83	0.98
CaO(%)	1.65	1.87
MgO(%)	1.67	1.95
Organic material(%)	74.3	60.1

A¹⁾, Sediment : Waste(1:4, dry weight)

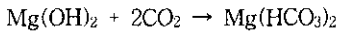
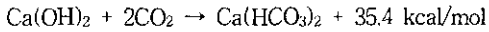
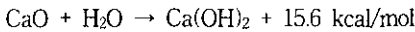
B²⁾, Sediment : Waste(1:1.9, dry weight = 1:4, wet weight)

Data are average of triplicate measurements

A시료의 경우 비료의 3대 영양소인 질소, 인산, 칼륨 성분은 각각 2.03%, 0.27%, 0.83%로 나타났고, 합계는 3.13%이었다. B시료의 경우 비료 3대 영양소의 합계는 3.39%이었다. 남은 음식물을 혼합한 퇴적물 시료의 조비료 성분은 축산분뇨를 첨가한 시료의 조비료 성분(질소 2.65%, 인산 2.65%, 칼륨 2.54%)에 비하여 인산과 칼륨 성분은 감소하였고, 질소성분은 유사하였다.⁴⁾ 또한, A, B 시료의 pH는 각각 4.18, 4.10으로 일반적인 남은 음식물

의 pH인 5.2~6.8보다 낮은 값을 보였다.¹⁵⁾ 혼합 시료의 유기물 함량은 60.1~74.3%로 퇴적물 자체의 유기물 함량 9.5%보다 월등히 높았다. 따라서, Table 2의 결과는 준설되는 해저 퇴적물이 비료로 사용될 수 있음을 제시하고 있다.

한편, 퇴적물과 남은 음식물을 불완전 처리 또는 매립 처분할 경우에는 악취의 발생 및 침출수에 의한 지면의 오염 등 많은 문제점을 야기 시킨다.¹⁶⁾ 따라서 퇴적물 및 남은 음식물의 혼합물에 첨가제인 생석회(CaO) 및 수산화 마그네슘 [Mg(OH)₂]을 투여하여 알칼리 안정화를 유도하였다. 생석회 첨가에 의한 알칼리 안정화 과정 중에는 아래와 같은 화학반응이 일어나는데, 이때 생기는 반응열(51kcal/mol)과 강알칼리성(pH 12)은 퇴적물내의 병원균을 사멸시킬 뿐만 아니라 중금속 용출을 억제시키고, 무기 영양성분들의 손실을 줄이는 것으로 알려져 있다.^{4,11,17,18)}



알칼리 안정화제인 생석회와 Mg(OH)₂을 투여하여 안정화시킨 혼합물의 조비료 성분은 Table 3과 같다.

Table 3. 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	10.6	12.1	9.68	9.82
	B	10.3	12.1	9.65	9.83
T-N(%)	A	1.74	1.38	1.15	0.69
	B	1.71	1.28	1.03	0.68
P ₂ O ₅ (%)	A	0.56	0.33	0.25	0.15
	B	0.35	0.35	0.25	0.23
K ₂ O(%)	A	0.60	0.49	0.39	0.23
	B	0.69	0.59	0.41	0.28
CaO(%)	A	15.0	21.2	4.64	5.39
	B	15.6	21.9	5.13	5.41
MgO(%)	A	1.15	1.13	29.8	36.3
	B	1.32	1.37	28.1	36.7
Organic material(%)	A	49.0	34.6	45.1	36.2
	B	42.0	31.0	40.8	34.9

Data are average of triplicate measurements

생석회 30% 투여 혼합물에 비하여 60% 첨가된 조비료에서 칼슘함량이 증가하였으나, 비료의 3대 영양소는 감소하는 경향을 보였다. 생석회와 수산화 마그네슘을 혼합 첨가하여 알칼리 안정화시킨 조비료에서도 마그네슘은 증가하였으나, 나머지 영양성분들은 수산화 마그네슘이 증가할수록 감소하였다. 첨가제의 투여량에 따른 혼합물내의 3대 영양소 함량변화는 Fig. 2와 같다.

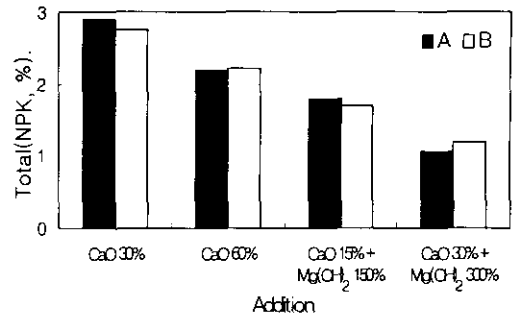


Fig. 2. Changes in NPK of crude fertilizer as function of the alkalinization.

Table 3과 Fig. 2의 결과는 해저퇴적물과 남은 음식물을 건 중량비 1:4로 혼합된 시료에 생석회 30%를 투입하였을 때 모든 조비료 성분이 높았다. 이 결과는 축산분뇨 또는 퇴적물과 축산분뇨 혼합물에 생석회 30%를 투입하여 얻은 결과와도 일치하였다.^{4,18)} 또한, 비료의 영양분에 대하여 Higgins¹⁹⁾의 퇴비성분 분류기준으로 조비료를 평가하면 다음과 같다. 질소(T-N) 성분을 기준으로 할 때 고급비료는 3.0% 이상, 중급비료 1.5~3.0%, 저급비료 0.1~1.5%로 생석회 30%를 첨가하여 알칼리 안정화시킨 퇴적물의 조비료는 중급 비료로 평가되었으며, 생석회 60% 및 생석회와 수산화 마그네슘을 병행 사용하였을 때에는 저급비료로 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 조비료가 저급 비료로 평가되었다. 칼륨(K₂O) 성분의 기준을 보면 고급비료 0.72% 이상, 중급비료 0.36~0.72%, 저급비료 0.05~0.36%로 생석회와 수산화 마그네슘을 30% + 300% 첨가하여 알칼리 안정화시킨 퇴적물의 조비료는 저급비료로 평가되었고, 그외의 조비료는 중급비료로 평가되었다. 또한, 칼슘 및 마그네슘 성분의 기준을 보면 칼슘(CaO)은 고급비료 4.9% 이상, 중급비료 2.10~4.90%, 저급비료 0.84~2.10%로 생석회와 수산화 마그네슘을 15% + 150% 사용한 조비료중 A만 중급비료이고, 그외는 모두 고급비료에 속하였으며, 마그네슘(MgO)은 고급비료 0.66% 이상, 중급비료 0.41~0.66%, 저급비료 0.17~0.41%로 평가되는데 마그네슘의 모든 처리구가 고급비료로 평가되었다. 이상에서 보면 제조된 퇴적물의 조비료는 질소 및 칼륨성분으로는 저급내지 중급비료로 평가되어 퇴적물에 축산분뇨를 혼합하였을 때의 조비료 보다 낮은 영양상태를 나타내었으며, 칼슘과 마그네슘을 기준으로 할 때는 고급비료로 평가되었다.

3.2. 중금속 함량변화

퇴적물의 구리(Cu) 농도는 34.5mg/kg으로 연안 해역의 퇴적물 중 구리농도(21.3~64.4mg/kg)와 유사하였으나, 카드뮴(Cd) 농도는 이들 해역보다 약 1/3~1/9로 나타났다.²⁰⁾ 납(Pb)은 27.0mg/kg으로 지각 내 평균농도인 12.5mg

/kg²¹⁾와 연안역 니질 내 평균농도인 20mg/kg과 유사한 농도 분포를 보였다.²²⁾ 아연(Zn)은 10.1mg/kg를 나타내었는데, 이는 연안역 니질 내 평균농도인 95 mg/kg보다 낮은 값이었다.²³⁾

유기성 폐기물을 직접 토양에 주입할 경우에는 폐기물내의 중금속 성분들이 토양을 오염시킬 뿐만 아니라 작물의 대사과정을 통해 체내에 축적되므로 인체에도 피해를 유발시키게 된다.²³⁾ 따라서 폐기물 중의 중금속에 의한 이차적 문제를 최소화시키기 위한 방안으로서 폐기물의 안정화 방법을 흔히 사용한다.²⁴⁾ 퇴적물과 남은 음식물은 건조량비 1:4(A시료)로 혼합하여 알칼리 안정화 반응 전·후 시료의 중금속 농도를 보면 Cu가 17.9mg/kg에서 11.2~18.5(평균 14.9)mg/kg으로, Pb이 6.86mg/kg에서 6.9~15.2(평균 10.9)mg/kg으로, Cr이 21.1mg/kg에서 9.4~14.6(평균 12.5)mg/kg으로, Cd이 0.26mg/kg에서 0.44~1.66(평균 0.93)mg/kg으로 나타났다(Table 4, Table 5).

Table 4. Contents of heavy metal a mixture of the sediment and food waste

Elements (mg/kg)	Sample Type	
	A	B
Cu	17.9	19.3
Pb	6.86	13.2
Cr	21.1	36.8
Cd	0.26	0.26

Data are average of triplicate measurements

Table 5. Contents of heavy metal of the alkalinized crude fertilizer

Elements Sample (mg/kg)	Sample Type	Treatment			
		CaO (30%)	CaO (60%)	CaO+Mg(OH) ₂ (15%+150%)	CaO+Mg(OH) ₂ (30%+300%)
Cu	A	16.0	14.0	18.5	11.2
	B	14.8	17.7	19.9	18.5
Pb	A	6.90	7.71	15.2	13.9
	B	7.62	7.42	12.6	12.7
Cr	A	14.6	12.9	9.44	12.9
	B	24.1	19.7	12.6	14.4
Cd	A	0.56	0.44	1.06	1.66
	B	0.30	0.26	0.57	0.71

Data are average of triplicate measurements

비료(퇴비)의 중금속 농도는 구리 500mg/kg, 납 150mg/kg, 크롬 300mg/kg, 카드뮴 5mg/kg이하로 비료 관리법으로 규제하고 있다.¹³⁾ Table 5의 결과와 같이 알칼리 안정화 반응을 마친 퇴적물 조비료의 중금속 농도는 퇴비 기준을 만족시켰다. 중금속의 존재형태 중 전이금속의 경우 철 산화물이나 망간 산화물에 강하게 결합하고, 카드뮴, 구리, 아연과 같은 양이온들은 단일용질로 존재하기보다는 다른 금속이나 고농도의 Ca²⁺나 Mg²⁺ 등과 같은 알칼리 토금속들과 결합하는 경향을 갖는다.²⁵⁾ 즉, 낮은 농도의 중금속 이온들은 토양과 단단히 결합하므로 지하수를 오염시키지도 않으며, 작물에 의해 섭취되지도

않은 상태가 된다.²⁶⁾ 또한, 비료를 토양에 주입 시 토양의 pH는 비료의 탄산칼슘(CaCO₃) 함량과 분해과정에서 생성되는 산의 양에 의하여 좌우되고,²⁷⁾ 토양 pH가 1 증가하면 아연과 구리의 활동도가 100배 감소한다는 보고²⁸⁾와 석회 사용으로 토양 pH가 상승하여 식물체로의 카드뮴 이행성이 저감되고는 토양에서 환원 상태로 갈수록 토양내 카드뮴 흡착이 증가되어 상대적으로 수도체로의 이행성은 낮아진다고 한 보고²⁹⁾를 볼 때 본 연구에서 제조된 조비료와 같이 약 알칼리성인 건조된 비료를 토양에 사용하였을 때는 중금속에 의한 작물체의 위험은 없을 것으로 사료된다.

3.3. 대장균군, 분변계 대장균 및 생균수 변화

퇴적물과 남은 음식물의 혼합물 및 알칼리 안정화 된 조비료 내의 대장균군 및 분변계 대장균 수는 각각 1.1~1.3 × 10⁷MPN/100g, 2.3~3.3 × 10⁴MPN/100g이었으며, 생균수는 4.7~5.5 × 10³cfu(Colony Forming Unit)/g이었다.

그러나, 알칼리 안정화 처리된 조비료의 대장균군 및 분변계 대장균은 검출되지 않았으며, 생균수는 1.2~8.0 × 10³cfu/g으로 감소하였다. 즉, 알칼리 안정화 처리 전·후를 비교하였을 때 분변계 대장균은 4log cycle, 생균수는 5log cycle 감소되었다. 이 결과는 알칼리 안정화 과정의 열, 가스 및 강알칼리성에 기인한 것으로 여겨지며, 수산화 마그네슘도 생석회의 부분대체 또는 병행 사용이 가능할 것으로 사료된다. 대장균군 및 생균수가 각각 2.3 × 10⁵MPN/100g 및 5.0 × 10⁵cfu/g인 축산분뇨를 알칼리 처리할 경우 대장균군이 2 log cycle, 생균수가 1log cycle 감소하였다는 Kim and Choi¹⁸⁾의 결과를 볼 때, 본 조비료 제조 공정은 대장균 등에 대한 살균효과가 탁월함을 보여 주는데, 이는 제조된 퇴적물 조비료의 안전성이 높음을 제시한다.

Table 6. Bacteriological quality of the alkalinized crude fertilizer

Treatment	Sample Type	Compost	Coliform group (MPN/100g)	Focal coliform (MPN/100g)	Viable cll count (cfu/g,35°C)
Sediment Sample	A		1.1 × 10 ⁷	3.3 × 10 ⁴	4.7 × 10 ³
	B		1.3 × 10 ⁷	2.3 × 10 ⁴	5.5 × 10 ³
Alkaline Stabilization	A	CaO 30%	<18 ¹⁾	<18	1.5 × 10 ³
		CaO 60%	<18	<18	3.0 × 10 ³
		CaO+Mg(OH) ₂ (15%+150%)	<18	<18	8.0 × 10 ³
		CaO+Mg(OH) ₂ (30%+300%)	<18	<18	2.1 × 10 ⁴
	B	CaO 30%	<18	<18	5.0 × 10 ³
		CaO 60%	<18	<18	3.9 × 10 ³
		CaO+Mg(OH) ₂ (15%+150%)	<18	<18	4.0 × 10 ³
		CaO+Mg(OH) ₂ (30%+300%)	<18	<18	1.2 × 10 ⁴

¹⁾ Median value

Data are average of triplicate measurements

조비료 내의 병원균에 의한 안전성을 미국 EPA (Environmental Protection Agency)의 PSRP (Process to Significantly Reduce Pathogens)를 적용시켜 보면 알칼리 안정화 반응물은 pH 12이상으로 2시간 이상 지속되어야 한다.^{5,30,31)} 본 연구에서 알칼리 안정화 된 조비료 내의 pH를 반응직후 및 2시간 지난 뒤 pH 변화를 측정하여 본 결과 12.0~12.5로서 pH 변화는 없는 것으로 나타났다. 5개월이 지난 뒤에도 크게 차이를 보이지 않아 pH는 일정기간 지속되어 미국의 EPA기준을 만족하였다. 이와 같이 제조된 퇴적물 조비료의 미생물에 대한 높은 안전성과 지속적인 강알칼리성 유지는 Kim and Choi 등의 결과와 유사하였다.^{32,33)}

이상의 결과들은 유기물을 다량 함유한 양식장 퇴적물을 자원화 하기 위한 방안으로서 양식장 해저퇴적물에 생석회 및 남은 음식물을 첨가하여 제조된 완효성 조비료는 농업용 비료로서 활용할 수 있을 가능성이 높음을 제시한다. 현재 본 공장에서 제조된 유기질 조비료의 비료 평가는 원예작물을 대상으로 하여 시험 중에 있으며, 차후보고 하고자 한다.

4. 결 론

알칼리 안정화방법에 의거하여 양식장 퇴적물을 농업용 유기질 비료로 사용하기 위한 기초연구로서 제조과정에 따른 조비료의 유효성분 및 중금속농도를 분석하고, 조비료의 유해성 여부를 평가하였다. 퇴적물과 남은 음식물의 혼합을 및 첨가제의 양을 달리하여 조비료를 제조한 결과 생석회 30% 첨가시 건중량비 1:4 이었을 때 가 최적의 반응조건 이었다. 또한, 알칼리 안정화제로서 수산화 마그네슘도 생석회의 부분 대체나 영양분의 보강제 측면에서 사용될 수 있음을 보여 주었다. 제조된 퇴적물 조비료는 질소 및 칼륨 함량을 기준으로 할 때 저급 내지 중급 비료로 평가되었으며, 칼슘과 마그네슘의 함량은 고급비료로 평가되었다. 이상의 결과들은 알칼리 안정화 방법으로 제조된 조비료는 중금속 및 병원성균에 의한 유해성이 없으며, 양식장 퇴적물을 유기질 비료로 이용 가능함을 제시한다.

감사의 글

본 연구를 수행함에 있어 도움을 주신 국립수산진흥원 박정흠 실장님과 이태식 연구관님께 감사 드리며, 좋은 논문이 되도록 날카로운 지적을 해주신 심사위원들께 감사의 말씀을 전합니다. 이 연구는 국립수산진흥원 경상 연구과제인 연안어장 적정환경 관리기술 연구의 일부로 수행되었음을 밝힙니다.

참 고 문 헌

1) 이필용, 1997, 내만 양식장 퇴적물층의 유기물 농도분포특성과 양식어장의 환경개선, 해양수산자원 배양에 관한 연구자 협의회 논문집Ⅱ, 해외어업협력재단, 450~454.
 2) Murakami, K., Y. Hosokawa, and S. Talano, 1998, Monitoring on bottom sediment quality improvement

by sand capping in Mikawa bay, Bull. Coastal Oceanogr., 36(1), 83~89.
 3) Takeuchi, T., 1999, Possibility of water quality improvement works for environmental conservation in water areas, Bull. Coastal Oceanogr., 36(2), 131~135.
 4) Kim, J. B., W. J. Choi, P. Y. Lee, C. S. Kim, H. J. Lee, and H. C. Kim, 2000, Application of alkaline stabilization processes for organic fertilizer of coastal sediments, J. Korean Fish. Soc., 33(6), 508~513.
 5) USEPA, 1979, Process design manual sludge treatment and disposal, Technology transfer, EPA 625/1-79-011.
 6) Yoo, K. T., 1994, Lime stabilization of sewage biosolids. ME Thesis, Korea Univ., Seoul.
 7) 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.
 8) Jacobs, A., and M. Silver, 1990, Sludge Management at the Middlesex County Utilities Authority, Water Sci. Technol., 22(12), 93~106.
 9) Bergheim, A., and S. J. Cripps, 1998, Effluent treatment and sludge processing on Norwegian land-based fish farms, Recirc. Today, 1(2), 17~19.
 10) Cho, J. K., 1999, A study on solidification of digested sewage sludge with converter slag and usage as landfill cover, Ph. D. Thesis, Hongik Univ., Seoul, 159pp.
 11) Park, J. R., 2000, The optimum dosage of calcined lime to swine wastes in organic fertilizing process. ME Thesis, Pukyong Univ., Pusan.
 12) 조성진, 박천서, 엄대익, 1987, 토양, 향문사, 396pp.
 13) 농업과학기술원, 1996, 비료의 품질검사방법 및 시료 채취기준, 193pp.
 14) AOAC, 1992, Bacteriological analytical manual. 7th ed, Association of official Agricultural Chemists, Arlington, VA, 17~166pp.
 15) Seong, S. H., W. S. Kim, and J. Y. Seo, 1996, Effects of coal fly ash on composting process of household garbage. Kor. J. Environ. Agri. 15(3), 282~288.
 16) Yun, H. Y., K. Y. Yoo, H. W. Park, K. S. Kim, and M. J. Yu, 1994, Determination of optimum process variables in the design and operation of aerobic composting for the food wastes, J. Korea Solid Wastes Eng. Soc., 14(7), 729~740.
 17) WEF, 1992, Design of municipal wastewater treatment plants, MOP, 8, 1361~1378.
 18) Kim, H.C., and Y. S. Choi, 1995, A study on the limestabilization of livestock waste, J. Kor. Soc. Ana.

- Sci., 8(1), 91~99.
- 19) Higgins, A. J., 1984, Management techniques for minimizing risk of sludge and compost use, *Managing sludge by composting*, The JG Press. Emmaus, 229pp.
 - 20) 전현국, 이필용, 최희구, 김숙양, 김정배, 김평중, 김상수, 박정훈, 허승, 2000, 해양오염측정망 및 연안유해오염물질 동태연구, 국립수산진흥원사업보고서, 331~347pp.
 - 21) Taylor, S.R., 1964, Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 28, 1274~1285.
 - 22) 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, 281~390pp.
 - 23) 임선욱, 1982, 식물영양·비료학, 일신사, 446pp.
 - 24) 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(2), 159~165.
 - 25) 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.
 - 26) Vesilind, P. A., 1979, Ultimate disposal on land: Treatment of wastewater sludge, Ann arbor science publishers, Inc., Ann arbor, Michigan, 265~290pp.
 - 27) 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.
 - 28) Epstein, E., and R. L. Chaney, 1978, Land disposal of toxic substance and water-related problems. *JWPCF*, 50.
 - 29) Jung, G. B., K. S. Kim, J. S. Lee, and SKwon, S.I., 2000, Effects of soil texture, irrigation system and soil ameliorators on the cadmium adsorption in soil and uptake in rice plant. *Kor. J. Environ. Agri.* 19(2), 128~133.
 - 30) Farrell, J., J. Smith, S. Hathaway, and R. Deanl, 1974, Lime stabilization of primary sludge. *JWPCF*, 46, 113~122.
 - 31) USEPA, 1999, Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge, Environmental regulations and technology, EPA/625/R-92/013.
 - 32) 한국과학기술원, 1991, 전국 축산분뇨 적정관리대책 연구, 145pp.
 - 33) Choi, E. S., and K. T. Yoo, 1998, Applicability of dewatered sewage sludge as landfill cover material or soil conditioner, *J. KSWQ*, 14(3), 331~337.