ORIGINAL PAPER
http://dx.doi.org/10.17137/korrae.2015.23.1.052
원저
ISSN 1225-6498

하수슬러지에 대한 지렁이처리법 적용에 유리한 몇 가지 친환경 응집물질의 하수슬러지에 대한 응집효과

배윤환*†, 박순철**
대진대학교 생명과학과*, 중앙대학교 생명과학과**
(2015년 3월 10일 접수, 2015년 3월 24일 수정, 2015년 3월 24일 채택)

Coagulating effects of several eco-friendly coagulant materials favorable for vermicomposting sewage sludge

Yoon-Hwan Bae*†, Soon-Cheol Park**
Dept. of Life Science, Daejin Univ.*, Dept. of Life Science, Chung-Ang Univ.**

ABSTRACT

Coagulating effects of eco-friendly coagulant materials such as zeolite, kaolinite, loess and chitosan upon sewage sludge were evaluated. And coagulating effects of the mixtures of those materials and polymer (polyacrylamide) were also investigated. Coagulating efficiency of loess was higher than that of kaolinite and zeolite at the treatment levels of 2,500~50,000mg/L. Coagulating efficiencies of zeolite, kaolinite and loess at the treatment level of 20,000mg/L were lower than that of 1,000 mg/L of polymer, which meant that single application of those materials in real plant were not feasible. At the treatment level of 1,000 mg/L, coagulating efficiency of Chitosan was much lower than that of polymer, which also meant that single use of chitosan in real plant could be unrealistic because of its high price. However, the application of the mixture of 'polymer 80mg/L + kaolinite or loess 500 mg/L + chitosn 10mg/L' or the mixture of 'polymer 80mg/L + kaolinite or loess 500mg/L' was promising way for coagulating sewage sludge.

Keywords : coagulant, sewage sludge, vermicomposting, polymer, loess, kaolinite, chitosan

초 록

슬러지 응집제로서 폴리머, 제올라이트, 고령토, 황토, 키토산 등의 하수슬러지에 대한 응집효과 및 폴

† Corresponding author (yhbae@daejin.ac.kr)

리머와 이들 응집제를 혼합한 물질의 응집효과를 검토하였다. 2,500~50,000 mg/L 농도에서 황토가 고령토, 제올라이트보다 하수슬러지에 대한 응집효율이 높았다. 제올라이트, 고령토, 황토 20,000 mg/L 처리의 응집효과는 폴리머 1,000 mg/L 처리의 응집효과보다 낮게 나타났다. 따라서 제올라이트, 고령토, 황토 단독 처리로는 현행 하수슬러지 탈수 시에 사용 중인 폴리머와 같은 응집효과는 기대하기 어려웠다. 키토산 역시 폴리머와 같은 1,000 mg/L 처리에서 응집효과가 현저하게 낮은 것과 고가의 구입비용을 감안하였을 때 키토산 단독처리는 현실적이지 않은 것으로 나타났다. 하수슬러지에 대한 지렁이처리법 적용에 유리한 응집제 조합은 '폴리머 80mg/L +고령토 또는 황토 500 mg/L + 키토산 10 mg/L' 으로 판단되며, 다음으로 '폴리머 80 mg/L + 고령토 또는 황토 500 mg/L' 조합으로 판단된다.

핵심용어 : 응집제, 하수슬러지, 지렁이처리, 폴리머, 황토, 고령토, 키토산

1. 서론

폐기물을 지렁이에게 먹이게 되면, 그 자체가 곧 경제적이고 환경친화적인 폐기물처리가 되고 폐기물 처리 후 부수적으로 생산되는 분변토(지렁이 배설물)는 최고의 유기질 비료나 토양개량제로 이용되며 증식된 잉여지렁이는 의약품, 화장품 원료, 기능성 가축사료, 낚시미끼 등으로 활용된다. 이러한 지렁이의 특징으로 인해 1992년도에 환경부에서는 유기성 폐기물에 대한 지렁이처리법(vermicomposting) 적용을 공식 폐기물처리기술로 지정하였고, 2004년도에 농림부에서는 지렁이를 가축으로 공시하였다. 그러나 국내 150여 곳의 지렁이 농장에서 겪고 있는 운영상의 가장 큰 애로사항은 양호한 지렁이 먹이를 지속적이고 안정적으로 확보할 수 없다는 것이다.

갓 발생한 하수슬러지를 지렁이에게 장기간 급이 할 경우 하수슬러지에 의한 독성이 유발되어 지렁이 개체군의 활력저하, 밀도감소 및 치사현상 등이 벌어졌는데[1~3], 현행 사용 중인 유, 무기 응집제가 지렁이 사육 현장에서 유발된 지렁이 사멸현상의 주요 원인인 것으로 밝혀졌다[4~7].

따라서 하수슬러지를 지렁이를 이용하여 처리하기 위해서는 하수슬러지 응집, 탈수 시 사용하는 응집제의 독성을 최소화하는 응집제의 개발이 필요하다.

한편 수처리 대상 용액의 고형물에 대해서 응집효과가 있은 것으로 알려진 제올라이트[8~9], 황토[10], 키토산[11~12]과 고령토는 지렁이에게 독성을 유발하지 않는 것으로 나타났다[13].

본 연구에서는 이들이 하수슬러지 탈수 시에 투여하는 응집제로 활용될 수 있을 지의 여부를 판단하기 위해서 이들 물질의 하수슬러지에 대한 응집효과 및 현행 주로 사용하고 있는 고분자 유기 응집제인 폴리머와 이들 물질들을 혼합 사용하였을 때 응집효과를 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 각 응집물질 종류에 대한 응집효율 조사

실험용 슬러지로 경기도 포천시 S. 하수처리장에서 탈수 직전의 2차 슬러지를 채취하여 이용하였다. 1L의 유리 비이커(높이 12 cm)에 1L의 2차 슬러지를 넣은 후 제올라이트, 고령토, 황토, 키토산, 폴리머, 알럼 등의 해당 농도를 응집제를 투여한 후에 Jar tester를 이용하여 급속교반 150 rpm 5분, 저속교반 65 rpm 15분, 정치시간 60분 후에 비이커내 침전물의 높이를 측정하였다. 침전물의 높이가 낮을수록 응집효율이 높은 것으로 판단하였다. 하수슬러지 침전률은 다음 식으로 계산하였다.

$$\text{침전률}(\%) = \{(\text{비이커 높이 } 12\text{ cm} - \text{침전물 높이})/\text{비이커 높이}\} \times 100.$$

2.2. 각 물질의 처리량에 따른 응집효율 조사

상기 실험 후 응집효율이 우수한 응집제 후보 물질을 선발한 후, 처리 농도를 달리하여 같은 방법으로 Jar test를 실시한 후 응집효율을 조사하였다.

2.3. 폴리머와 친환경 응집물질 조합에 따른 응집효율 조사

폴리머와 후보 응집물질들의 조합을 여러 가지로 달리하여 상기와 같은 방법으로 응집효율을 조사하였다. 비이커내 상등액의 SS(suspended solids)를 측정하여 SS 제거율을 계산하였다. 계산식은 다음과 같이 하였다. SS 제거율(%) = {(상등액의 SS − 2차 슬러지 원수의 SS)/2차 슬러지 원수의 SS)}× 100. 비이커의 상등액을 제거하고 침전 용액을 거름천에 담아서 1,600 rpm의 탈수기를 이용하여 5분간 탈수하였다. 탈수 후 거름천에 남은 슬러지의 수분함량을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 각 응집물질 종류에 대한 응집효율

20,000 mg/L의 농도로 처리된 제올라이트, 고령토, 황토에서의 침전률은 각각 64.2, 55.0, 61.7 %로 제올라이트에서의 침전률이 다소 높은 것으로 나타났으나 큰 차이는 없었다. 1,000 mg/L의 농도로 처리된 키토산, 폴리머, 알럼에서의 침전률은 각각 50.8, 66.7, 32.5 %로 폴리머의 응집효과가 가장 높았으며 알럼의 응집효과는 현저하게 낮았다**[Table 1]**.

폴리머 1,000 mg/L 처리의 응집효과가 제올라이트, 고령토, 황토 20,000 mg/L 처리의 응집효과보다 높은 것으로 보아 제올라이트, 고령토, 황토 단독 처리로는 현행 하수슬러지 탈수 시에 사용 중인 폴리머와 같은 응집효과는 기대하기 어려울 것으로 판단된다. 키토산 역시 폴리머와 같은 1,000 mg/L 농도 처리에서 폴리머보다 응집효과가 현저하게 낮은 것과 고가의 구입비용을 감안하면 키토산 단독처리는 현실적이지 않은 것으로 나타났다.

3.2. 각 물질의 처리량에 따른 응집효율 조사

제올라이트, 고령토, 황토를 2,500~50,000 mg/L의 농도 범위에서 처리하였을 때 처리농도가 높아질수록 응집효과도 높아지는 것으로 나타났으며, 황토에서의 침전율이 48.3~65.0 %로 제올라이트, 고령토의 침전률보다 전반적으로 높은 것으로 보아 세 물질 중에서는 황토의 응집효과가 가장

[Table 1] Coagulating effect of several materials on the secondary sludge of sewage treatment plant in Jar test

Material	Treated concentration (mg/L)	Height of coagulated precipitation in beaker (cm)	Precipitation rate* (%)
Zeolite	20,000	4.3	64.2
Kaolinite	20,000	5.4	55.0
Loess	20,000	4.6	61.7
Chitosan	1,000	5.9	50.8
Polymer	1,000	4.0	66.7
Alum	1,000	8.1	32.5

¤ Jar testing process : ① High speed agitation by 150rpm for 5 minutes ② Low speed agitation by 65rpm for 15 minutes ③ Stationary stage for 60 minutes

* Precipitation rate(%) : (Height (12cm) of introduced sewage effluent in beaker − Height of precipitation in beaker)/Height (12cm) of introduced sewage effluent in beaker×100

[Table 2] Coagulating effect of zeolite, kaolinite and loess on the secondary sludge of sewage treatment plant in Jar test

Treated concentration (mg/L)	Precipitation rate (%)* of zeolite	Precipitation rate (%)* of kaolinite	Precipitation rate (%)* of loess
2,500	13.3	11.7	48.3
5,000	16.7	19.2	55.0
10,000	22.5	25.0	59.2
20,000	34.2	29.2	62.5
30,000	36.7	30.8	65.0
50,000	40.8	35.8	65.0

¤ Jar testing process : ① High speed agitation by 150rpm for 5 minutes ② Low speed agitation by 65rpm for 15 minutes ③ Stationary stage for 60 minutes
* Precipitation rate(%) : (Height (12cm) of introduced sewage effluent in beaker – Height of precipitation in beaker)/Height (12cm) of introduced sewage effluent in beaker×100

높은 것으로 판단된다**[Table 2]**.

한편 20,000 mg/L 처리에서**[Table 1]**의 침전률과 **[Table 2]**의 침전률이 다르게 나타난 것은 각 실험 당시 채취한 농축슬러지의 이화학적 성상이 달랐기 때문인 것으로 생각된다.

10~100 mg/L의 농도 범위에서 키토산을 처리하였을 때 침전률은 22.5~35.8 %로 처리농도가 높아질수록 응집효과도 점진적으로 높아지는 것으로 나타났다**[Table 3]**.

3.3. 폴리머와 친환경 응집물질 조합에 따른 응집효율

상기에서 제올라이트, 고령토, 황토, 키토산의 처리농도에 따른 응집효과를 감안하였을 때, 이들 응집제가 현행 하수슬러지 탈수 시에 관행적으로 사용 중인 폴리머와 유사한 농도에서 동일한 응집효과를 나타낼 수 없으며 따라서 이들 응집제가 폴리머를 완전히 대체할 수 있는 물질이 될 수 없음을 알 수 있었다. 그러나 이들 물질은 지렁이에 대한 독성이 거의 없는 반면에 폴리머는 독성을 유발

[Table 3] Coagulating effect of chitosan on the secondary sludge of sewage treatment plant in Jar test

Treated concentration (mg/L)	Height of precipitation in beaker (cm)	Precipitation rate (%)*
10	9.3	22.5
20	9.0	25.0
40	8.8	26.7
60	8.4	30.0
80	8.2	31.7
100	7.7	35.8

¤ Jar testing process : ① High speed agitation by 150rpm for 5 minutes ② Low speed agitation by 65rpm for 15 minutes ③ Stationary stage for 60 minutes
* Precipitation rate(%) : (Height (12cm) of introduced sewage effluent in Beaker – Height of precipitation in beaker)/Height (12cm) of introduced sewage effluent in beaker×100

[Table 4] Coagulating effects of the mixtures of polymer and other materials on the secondary sludge of sewage treatment plant in Jar test (I)

Serial No.	Treatment	SS/L	SS removal rate (%)	Height of precipitation in Beaker (cm)	Precipitation rate (%)*
1	Polymer 80mg/L + Chitosan 200mg/L	1.760	77	6.7	44.2
2	Polymer 80mg/L + Chitosan 100mg/L	1.776	77	6.6	45.0
3	Polymer 80mg/L + Kaolinite 5,000mg/L	1.676	78	6.0	50.0
4	Polymer 80mg/L+ Kaolinite 1,000mg/L	1.664	79	6.2	48.3
5	Polymer 80mg/L+ Loess 5,000mg/L	1.856	76	4.7	60.8
6	Polymer 80mg/L+ Loess 1,000mg/L	2.392	69	6.1	49.2
7	The secondary sludge	7.772	–	12.0	–

¤ Jar testing process : ① High speed agitation by 150rpm for 5 minutes ② Low speed agitation by 65rpm for 30 minutes ③ Stationary stage for 60 minutes

* Precipitation rate(%) : (Height (12cm) of introduced sewage effluent in beaker – Height of precipitation in beaker)/Height (12cm) of introduced sewage effluent in beaker×100

[13]하기 때문에 이들의 장점을 접목하고, 단점을 배제하는 방안이 강구될 필요가 있다.

[Table 4]는 폴리머 80 mg/L에 키토산을 100 또는 200 mg/L, 고령토, 황토를 1,000 또는 5,000 mg/L 농도로 혼합하여 처리했을 때 응집효과 및 2차 슬러지의 SS 제거율을 나타낸 것이다. 여기서 폴리머의 농도 수준을 80 mg/L로 공시한 것은 80 mg/L이하의 농도에서는 지렁이에 대한 독성이 발현되지 않았기 때문이었다[13].

SS제거율은 폴리머 80 mg/L+ 황토 1,000 mg/L 처리를 제외하면 모든 처리에서 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 폴리머 80 mg/L+ 황토 5,000 mg/L 처리 침전률은 60.8 %로 그의 응집효과가 다른 처리들보다 높은 것으로 나타났다. 혼합된 키토산 농도(100, 200 mg/L), 고령토 농도(1,000, 5,000 mg/L) 간에는 응집효과의 차이가 없는 것으로 나타났다.

[Table 5]와 **[Table 6]**은 폴리머 40, 80 mg/L에 고령토, 황토를 250, 500, 1,000 mg/L 농도로 혼합하여 처리했을 때 2차 슬러지의 SS 제거율과 침전률을 나타낸 것이다.

응집제 처리 조합에 따라 SS 제거율은 75.5~86.0 %로 나타났는데**[Table 5]**, 응집제 종류, 처리조합, 처리농도에 따른 경향성을 찾을 수가 없어 이들 조합처리가 SS 제거율에 차이를 유발하지는 않는 것으로 판단된다.

황토, 고령토 1,000 mg/L 단독처리(일련번호 7, 14), 폴리머 40 mg/L 단독처리(일련번호 16)보다 이들의 조합처리에서의 응집효과가 높은 것으로 나타났으며, 폴리머 80 mg/L 처리에서의 응집효과(일년번호 15)와 '폴리머 +황토, 고령토' 혼합처리에서의 응집효과와는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다**[Table 6]**. 전반적으로 폴리머와 혼합되는 황토, 고령토의 농도가 높아질수록 침전률도 높아지는 경향을 보이고 있으나, 폴리머 40 mg/L와 황토, 고령토를 혼합했을 경우에는 그 경향이 뚜렷하지 않았다.

'폴리머 80 mg/L+황토' 조합에서의 침전률(일년번호 1,2,3)이 '폴리머 80 mg/L+고령토' 조합에서의 침전률(일련번호 8,9,10)보다 높게 나타났으나, '폴리머 40 mg/L+황토', '폴리머 40 mg/L+고령토' 조합에서의 침전률(일련번호 4,5,6과 일련번호 11,12,13)은 그 반대 경향이 나타나서 폴리머와 혼합용 응집제로서 황토와 고령토 중 어느 것이 우수한 것인 지에 대한 판단은 더 세밀한 검토가 필요하다.

[Table 5] SS removing effects(%) of the mixtures of polymer and other materials on the secondary sludge of sewage treatment plant in Jar test

Serial No.	Treatment	Testing Date			Average
		June 31, 2013	Aug. 3, 2013	Aug. 7, 2013	
1	Polymer 80mg/L + Loess 1,000mg/L	84.4	77.0	80.9	80.8
2	Polymer 80mg/L + Loess 500mg/L	86.6	76.0	84.4	82.4
3	Polymer 80mg/L + Loess 250mg/L	91.5	74.9	86.2	84.2
4	Polymer 40mg/L + Loess 1,000mg/L	91.2	67.4	68.0	75.5
5	Polymer 40mg/L + Loess 500mg/L	95.1	66.9	84.8	82.3
6	Polymer 40mg/L + Loess 250mg/L	92.9	73.8	91.2	86.0
7	Loess 1,000mg/L	90.0	73.8	76.7	80.2
8	Polymer 80mg/L + Kaolinite 1,000mg/L	96.9	75.6	85.0	85.8
9	Polymer 80mg/L + Kaolinite 500mg/L	98.2	72.9	89.3	86.8
10	Polymer 80mg/L + Kaolinite 250mg/L	97.1	76.0	79.4	84.2
11	Polymer 40mg/L + Kaolinite 1,000mg/L	97.6	72.8	82.7	84.4
12	Polymer 40mg/L + Kaolinite 500mg/L	96.7	71.9	72.6	80.4
13	Polymer 40mg/L + Kaolinite 250mg/L	92.6	75.1	74.4	80.7
14	Kaolinite 1,000mg/L	90.9	73.6	73.2	79.2
15	Polymer 80mg/L	94.7	70.7	68.6	78.0
16	Polymer 40mg/L	93.7	75.5	73.6	80.9
17	The secondary sludge	–	–	–	–

¤ Jar testing process : ① High speed agitation by 150rpm for 5 minutes ② Low speed agitation by 65rpm for 15 minutes ③ Stationary stage for 60 minutes

[Table 6] Coagulating effects of the mixtures of polymer and other materials on the secondary sludge of sewage treatment plant in Jar test(II)

Serial No.	Treatment	Height of precipitation in Beaker(cm)			Mean (cm)	Precipitation rate (%)*
		First trial (July 31, 2013)	Second trial (Aug. 3, 2013)	Third trial (Aug. 7, 2013)		
1	Polymer 80mg/L + Loess 1,000mg/L	7.2	5.8	6.5	6.5	45.8

Serial No.	Treatment	Height of precipitation in Beaker(cm)			Mean (cm)	Precipitation rate (%)*
		First trial (July 31, 2013)	Second trial (Aug. 3, 2013)	Third trial (Aug. 7, 2013)		
2	Polymer 80mg/L + Loess 500mg/L	7.5	6.2	7.1	6.9	42.2
3	Polymer 80mg/L + Loess 250mg/L	7.7	6.6	7.4	7.2	39.7
4	Polymer 40mg/L + Loess 1,000mg/L	6.9	7.6	9.8	8.1	32.5
5	Polymer 40mg/L + Loess 500mg/L	7.1	7.7	7.3	7.4	38.6
6	Polymer 40mg/L + Loess 250mg/L	7.3	7.4	7.6	7.4	38.1
7	Loess 1,000mg/L	7.1	10.2	9.5	8.9	25.6
8	Polymer 80mg/L + Kaolinite 1,000mg/L	8.2	7.5	5.6	7.1	40.8
9	Polymer 80mg/L + Kaolinite 500mg/L	7.6	8.5	6.3	7.5	37.8
10	Polymer 80mg/L + Kaolinite 250mg/L	7.4	8.6	7.1	7.7	35.8
11	Polymer 40mg/L + Kaolinite 1,000mg/L	7.0	6.8	6.4	6.7	43.9
12	Polymer 40mg/L + Kaolinite 500mg/L	7.1	6.9	6.7	6.9	42.5
13	Polymer 40mg/L + Kaolinite 250mg/L	7.5	7.0	7.6	7.4	38.6
14	Kaolinite 1,000mg/L	6.8	9.6	9.5	8.6	28.1
15	Polymer 80mg/L	7.7	8.4	6.1	7.4	38.3
16	Polymer 40mg/L	7.5	8.7	8.4	8.2	31.7
17	The secondary sludge	12.0	12.0	12.0	12.0	–

¤ Jar testing process : ① High speed agitation by 150rpm for 5 minutes ② Low speed agitation by 65rpm for 15 minutes ③ Stationary stage for 60 minutes

* Precipitation rate(%) : (Height (12cm) of introduced sewage effluent in beaker – Height of precipitation in beaker)/Height (12cm) of introduced sewage effluent in beaker×100

[Table 7]은 폴리머 20, 30, 40, 80 mg/L, 고령토 500 mg/L, 키토산 10, 20 mg/L의 농도로 몇 가지 조합 처리하였을 때, SS 제거율, 침전률, 응집제 처리후 탈수된 하수슬러지의 함수율을 나타낸 것이다.

고령토 500 mg/L처리의 SS 제거율이 73.5 %이었던 것(일련번호 18)에 반하여 폴리머와 조합 처리된 다른 모든 처리의 SS 제거율은 76.7~89.7 %로 고령토 처리에서보다 높았다. 그러나 폴리머 단독처리, 폴리머+고령토, 폴리머+고령토+ 키토산 처리 간에는 특정한 경향을 찾아볼 수 없었고, 처리 조합 간, 처리농도 간 차이도 크지 않았다.

응집효과를 나타내는 침전률에 있어서는 '폴리머 40 mg/L + 키토산 20 mg/L' 처리에서 52.5 %(일련번호 12)로 가장 우수하였으며, 폴리머 40 mg/L + 고령토 500 mg/L + 키토산 10 mg/L에

[Table 7] Coagulating effects of the mixtures of polymer and other materials on the secondary sludge of sewage treatment plant in Jar test (III)

serial No.	Treatment	SS removal rate (%)	Precipitation rate (%)*	Water content of sludge (%)
1	Poymer 80mg/L + Kaolinite 500mg/L	82.8	45.0	87.6
2	Poymer 40mg/L + Kaolinite 500mg/L	82.2	39.2	89.5
3	Poymer 30mg/L + Kaolinite 500mg/L	80.6	39.2	89.4
4	Poymer 20mg/L + Kaolinite 500mg/L	85.0	28.3	90.6
5	Poymer 80mg/L	85.2	43.3	89.8
6	Poymer 40mg/L	81.2	40.0	91.7
7	Poymer 30mg/L	84.8	40.0	88.8
8	Poymer 20mg/L	84.6	39.2	90.1
9	Poymer 40mg/L + Kaolinite 500mg/L + Chitosan 10mg/L	79.5	46.7	88.4
10	Poymer 30mg/L + Kaolinite 500mg/L + Chitosan 10mg/L	81.4	40.0	89.5
11	Poymer 20mg/L + Kaolinite 500mg/L + Chitosan 10mg/L	82.1	38.3	89.4
12	Poymer 40mg/L + Chitosan 20mg/L	76.7	52.5	89.0
13	Poymer 40mg/L + Chitosan 10mg/L	82.5	45.0	89.1
14	Poymer 30mg/L + Chitosan 20mg/L	80.0	45.8	89.2
15	Poymer 30mg/L + Chitosan 10mg/L	89.7	44.2	89.9
16	Polymer 20mg/L + Chitosan 20mg/L	83.2	43.3	90.1
17	Poymer 20mg/L + Chitosan 10mg/L	79.4	34.2	91.0
18	Kaolinite 500mg/L	73.5	15.0	90.8
19	The secondary sludge	–	–	93.1

¤ Jar testing process : ① High speed agitation by 200rpm for 5 minutes ② Low speed agitation by 65rpm for 15 minutes ③ Stationary stage for 60 minutes

* Precipitation rate(%) : (Height (12cm) of introduced sewage effluent in beaker – Height of precipitation in beaker)/Height (12cm) of introduced sewage effluent in beaker×100

서 46.7 %로(일련번호 9) 비교적 우수한 응집효과를 나타내었다. 폴리머 단독 처리(일련번호 6, 7, 8)보다는 '폴리머+키토산 20 mg/L ' 처리 (일련번호 12, 14, 16)의 응집효과가 더 높았다. 고령토 500 mg/L와 폴리머 80 mg/L를 혼합할 경우 폴리머를 40 mg/L 이하로 혼합할 경우보다 응집효과가 현저히 높아졌음을 알 수 있었다(일련번호 1, 2, 3, 4).

응집제 조합 처리된 2차 슬러지를 원심탈수기(1,600 rpm)를 이용하여 탈수하여 생성된 하수슬러지의 함수율을 측정한 결과, 각 처리들의 함수율이 87.6~91.7%로 처리들 간에 큰 차이가 나타나지 않았으며, 통상의 하수슬러지 함수율 75~85%보다 높게 나타났다. 이것은 실험실에서 탈수에 사용된 원심탈수기의 회전속도(1,600 rpm)가 하수처리장에서 통상 사용되는 원심탈수기의 회전속도보다 낮아서 나타난 현상으로 해석된다.

[Table 8]은 폴리머 20, 80, 160 mg/L, 고령토 500 mg/L, 키토산 40 mg/L의 농도로 몇 가지 조합 처리하였을 때, SS제거율, 침전률, 응집제 처리

[Table 8] Coagulating effects of the mixtures of polymer and other materials on the secondary sludge of sewage treatment plant in Jar test (IV)

Serial No.	Treatment	SS removal rate (%)	Precipitation rate (%)*	Water content of sludge (%)
1	Polymer 160mg/L + Kaolinite 500mg/L	missed	54.2	90.4
2	Polymer 80mg/L + Kaolinite 500mg/L	94.3	40.8	90.6
3	Polymer 20mg/L + Kaolinite 500mg/L	90.3	36.7	90.4
4	Polymer 160mg/L + Chitosan 40mg/L	85.7	40.0	92.0
5	Polymer 80mg/L + Chitosan 40mg/L	86.2	34.2	92.6
6	Polymer 20mg/L + Chitosan 40mg/L	85.8	33.3	91.2
7	Polymer 160mg/L	90.0	50.8	91.4
8	Polymer 80mg/L	94.4	38.3	91.0
9	Polymer 20mg/L	80.8	35.0	91.9
10	Kaolinite 500mg/L	84.8	22.5	85.9
11	Chitosan 40mg/L	85.5	37.5	90.5
12	The second sludge	–	–	91.5

¤ Jar testing process : ① High speed agitation by 200rpm for 5 minutes ② Low speed agitation by 65rpm for 15 minutes ③ Stationary stage for 60 minutes

* Precipitating rate(%) : (Height (12cm) of introduced sewage effluent in Beaker – Height of precipitation in beaker)/Height (12cm) of introduced sewage effluent in Beaker×100

후 탈수된 하수슬러지의 함수율을 나타낸 것이다.

폴리머 20 mg/L(일련번호 9), 고령토 500 mg/L(일련번호 10) 처리에서의 SS제거율은 다른 처리들보다 낮게 나타났으나, 처리들 간의 의미있는 경향성이 나타나지는 않았다.

폴리머 160 mg/L가 들어간 처리들(일련번호 1, 4, 7)에서 응집효과(침전률)는 폴리머가 80 mg/L 이하 농도 처리에서보다 높은 것으로 나타났다. 그러나 폴리머의 농도가 160 mg/L 이상으로 처리될 경우에는 그로부터 생성된 하수슬러지가 지렁이에게 독성을 유발13)하게 될 것이므로 현실적으로 적용할 수 없는 농도이다. 이 경우 폴리머가 가지는 높은 응집효과의 장점을 살리되 지렁이에게 독성을 유발하지 않는 농도 수준의 폴리머에 다른 천연 응집제를 혼합하여 슬러지의 응집효율을 높이고 그로부터 생성된 하수슬러지에 대하여 안전하게 지렁이처리법을 적용할 수 있는 방안을 강구하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

'폴리머 80 mg/L + 고령토 500 mg/L' 에서의 침전률은 40.0 %(일련번호 2)로 '폴리머 80 mg/L + 키토산 40 mg/L'에서의 침전률 34.2 %(일련번호 5)보다 높게 나타났다. 따라서 응집효과 측면에서 폴리머 80 mg/L와 혼합용 천연응집제로 고령토 500 mg/L가 키토산 40 mg/L보다 유리함을 알 수 있다.

응집제 처리후 탈수된 하수슬러지의 함수율은 85.9~92.6 %의 범위를 나타내었으며 처리간 특정 경향성은 없었다.

상기에서 슬러지 응집제로서 폴리머, 제올라이트, 고령토, 황토, 키토산 등의 응집효과, 폴리머와 다른 응집제 조합의 응집효과 등을 검토한 결과, 하수슬러지에 대하여 지렁이처리법을 적용하기 위해서는 다음과 같은 전략에서 슬러지 탈수용 응집제를 개발해야 할 것으로 판단된다. 즉, 지렁이에게 독성을 유발하지 않는 농도의 폴리머에 지렁이 독성이 없는 천연응집제 고령토, 황토, 키토산 등을 혼합하되 그의 혼합농도는 폴리머와 혼합하였을 때 충분한 응집효과를 발휘할 수 있는 농도로

한다. 그리고 추천된 응집제 조합을 향후 하수처리장 현장에서 적용하여 그의 응집효과를 확인하고, 그로부터 생산된 하수슬러지를 준설토와 혼합하여 지렁이에게 공급하였을 때의 지렁이 개체군의 생장반응 및 처리효율을 확인하는 과정이 요구된다.

4. 결론

(1) 250~50,000 mg/L 농도에서 황토가 고령토, 제올라이트보다 하수슬러지에 대한 응집효율이 높았다.
(2) 키토산은 10~1000 mg/L 처리농도에서 농도가 증가함에 하수슬러지에 대한 응집효과도 점진적으로 증가하였다.
(3) 제올라이트, 고령토, 황토 단독 처리로는 현행 하수슬러지 탈수할 때 사용하는 폴리머와 같은 응집효과를 기대할 수 없었다.
(4) '폴리머 160 mg/L +고령토 500 mg/L'조합처리의 응집효과가 '폴리머 80 mg/L +고령토 500 mg/L'조합처리의 응집효과보다 높았다.
(5) '폴리머 80 mg/L +고령토 500 mg/L'조합처리와 '폴리머 80 mg/L +고령토 500 mg/L + 키토산 20 mg/L'조합처리간에 응집효과의 차이는 없었다.
(6) '폴리머 80 mg/L +고령토'조합처리와 폴리머 '80 mg/L +황토' 조합 처리간에 응집효과의 차이는 없었다.
(7) 이상에서 하수슬러지에 대한 지렁이처리법 적용을 위해서 유리한 응집제 조합은 '폴리머 80mg/L +고령토 또는 황토 500 mg/L + 키토산 20 mg/L' 조합으로 판단되며, 다음으로 '폴리머 80 mg/L + 고령토 또는 황토 500 mg/L' 조합으로 판단된다.

5. 참고 문헌

1. Park, K. I., Bae, Y. H., "Feeding efficiencies and growth rates of tiger worm(Eisenia fetida Savigny) when they are fed with differently pretreated sewage sludge", J. of Korea Organic Resource Recycling Association, 11(4), pp. 66~78. (2003).
2. Park, K. I., Bae, Y. H., "Effects of sewage sludge on the cocoon production and its hatchability of tiger worm(Eisenia fetida)", J. of Korea Organic Resource Recycling Association, 12(4), pp. 105~111. (2004).
3. Park, K. I., "Study on the ecotoxicological effects of toxic substances of sewage sludge upon the earthworm (Eisenia fetida) and pretreatment of sewage sludge for vermicomposting", p. 123. Ph. D. Dissertation. Daejin University. Korea. (2010).
4. Park, K. I., Bae, Y. H., "Ecotoxicological effects of synthetic detergents on the populaton of Eisenia fetida. J. of Korea Organic Resource Recycling Association", 19(1), pp. 115~122. (2011).
5. Park, K. I., Bae, Y. H., "Effects of endocrine disrupter, Nonylphenol and DEHP(Di-(2ethylhexyl)phatalate) on the cocoon production and the hatchability of Eisenia fetida (Ennelida; Oligochaeta)", J. of Korea Organic Resource Recycling Association. 20(2), pp, 89~95. (2012).
6. Park, K. I., Bae, Y. H., "Bioaccumulation of Zn, Cu, Fe and Al in the earthworm Eisenia fetida (Ennelida; Oligochaeta) in relation to the supply of sludges. J. of Korea Organic Resource Recycling Association', 20(3), pp, 60~70. (2012).
7. Park, K. I., Bae, Y. H., "Ecotoxicological effects of Alum and Ferric chloride on the population of Eisenia fetida (Annelida ; Oligochaeta)", J. of Korea Organic

Resource Recycling Association", 20(1), pp. 50~60. (2012).
8. Lee, J. S., Lee, J. J. Choi, J., "Utilization of zeolite in waste water treatment", Korean J. Eviron. Agri., 6(2), pp. 46-52. (1987).
9. Choi, J. S., Joo, H. J., "A study on the application of natural zoelite as coagulant for effluent quality improvement in private sewage treatment facility", J. of Korean Society on Water Environment, 28(1), pp. 121-128. (2012).
10. Kho, H. W., Jang, S. H. and Sung, N. C., "Study on the waste water treatment as a coagulant using the waste oyster shells and loess", J. of Korean Inst. of esource Recycling, 11(2), pp. 45-51. (2002).
11. Cheong, C. J., "Evaluation of chitosan application as an alternative coagulant of aluminum containing coagulants in water treatment process", J. Chitin Chitosan, 15(1), pp. 24-28. (2010).
12. Lee, J. H., Yang, S. H., Shiin, Y. K. and Bang, K. W., "Treatment of dredging suspended solids using chitosan coagulant", Korean J. Environ. Engineering, 33(1), pp. 834-846. (2011).
13. Bae, Y. H., Shin, H. G., "Toxicities of several coagulants on earthworm and the effect of sewage sludges coagulated by mixtures of those coagulants on the population growth of earthworm Eisenia andrei", J. of Korea Society of Waste Management, 32(2) (in press). (2015).