

# 인공상토용 제지슬러지의 미생물 발효 Microorganism Fermentation of Paper Sludge for Artificial Bed Soils

정호경<sup>1)</sup> · 김철환<sup>1)</sup> · 김경윤<sup>1)</sup> · 신태기<sup>1)</sup> · 박종열<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>경상대학교 임산공학과

## 1. 서 론

국내 제지 공장의 폐수 처리장을 거친 후 대량으로 발생하는 유기성 산업폐기물인 제지 슬러지는 연간 150만톤 이상을 배출되고 있으며, 지속적인 종이 시장의 증가로 인하여 매년 그 발생량이 증가하고 있는 추세이다. 현재 대부분의 제지슬러지는 해양투기, 매립, 소각 등의 방법으로 처리되고 있으며 해양투기 처리가 가장 높은 비중을 차지하고 있다. 또한 정부는 유기성 슬러지의 직매립 금지 및 해양환경개선 부담금제 실시를 통하여 해양투기 및 매립비용에 소요되는 처리비용도 급격히 높아지고 있는 실정이다.

90년대의 원예 산업과 시설재배의 연중화에 따른 비닐하우스 영농이 활발하게 진행되면서 국내에 상토산업이 급격히 성장하였다. 국내 상토 사용비율은 2000년 10%선, 2004년에는 40%선(600여억원)으로 꾸준한 성장세를 나타내었으며 2005년 국내 상토 시장은 700억원 수준으로 집계되었으며 그 중 벼농사용 상토는 300억원으로 급격한 성장을 보이고 있다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 제지 슬러지의 미생물 발효

제지 회사의 폐수처리장에서 채취한 슬러지는 옥외에서 정체식 미생물 발효를 57일 동안 실시하였다.

## 2.2. 제지슬러지의 미생물 발효성 분석

시료채취는 미생물발효를 실시한 날을 1일로 간주하여 1, 4, 6, 11, 17, 24, 35, 57일에 채취하였으며, 슬러지더미의 깊이별로 골고루 떠서 혼합하여 약 500-700g 채취하였다. 채취한 시료는 풍건한 다음 105°C 건조기에서 전건시켜 보관하였다.

제지 슬러지의 발효정도를 알아보기 위하여 발효 일자별 열수가용성 환원당, 전당 및 식물독성실험을 수행하였다. 제조한 인공상토의 적합성을 살펴보기 위해 발효 57일 경과한 제지슬러지를 이용한 작물재배실험을 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 제지슬러지의 열수가용성 총당 및 환원당

열수가용성 총당 및 환원당은 미생물발효 6일까지 모든 처리조건에서 증가하는 경향을 보이나 발효 일자가 경과할수록 급격히 감소한다는 것을 알 수 있다. 또한 환원당은 35일 경과부터 함량의 감소는 미미하였다.

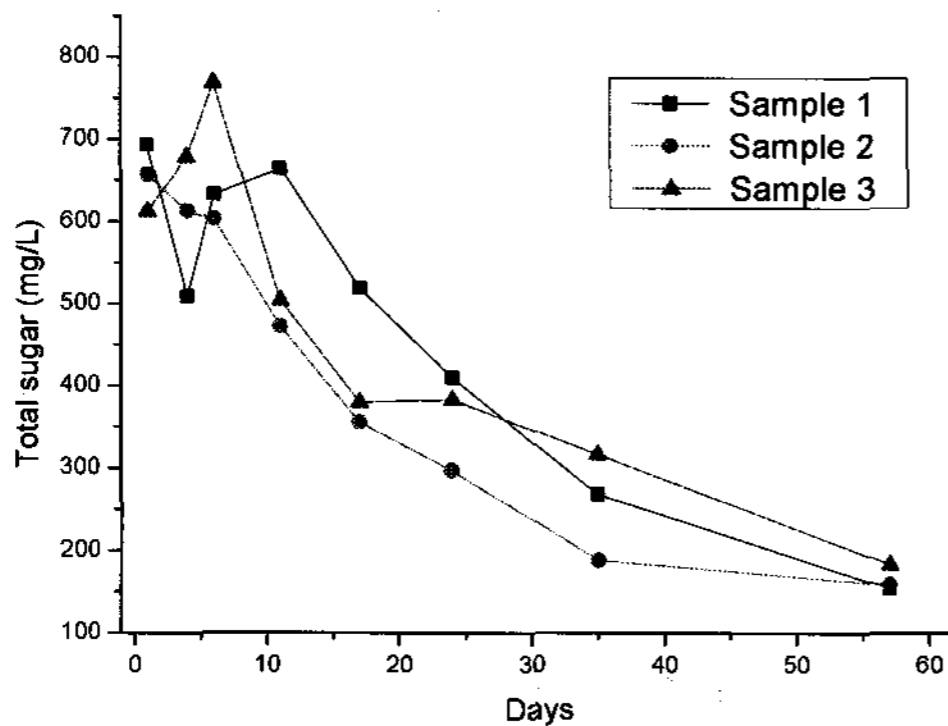


Fig. 1. Total sugar of paper sludges during the period of microorganism fermentation.

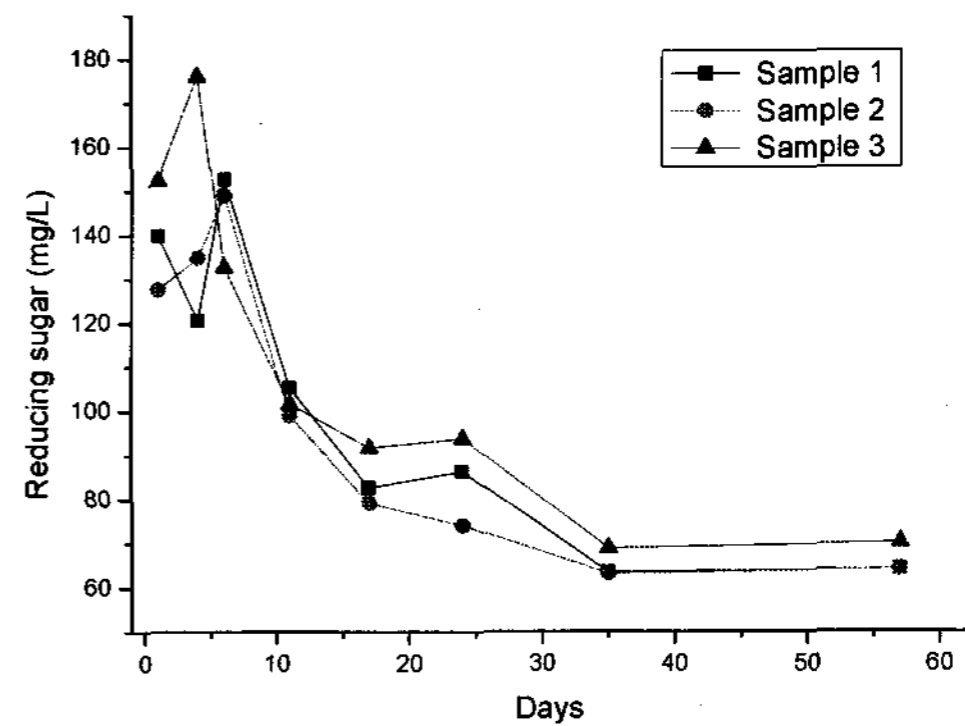


Fig. 2. Reducing sugar of paper sludges during the period of microorganism fermentation.

이는 미생물의 활동에 의해서 제지슬러지에 포함된 섬유질이 열수에 용해될 수 있는

형태의 당으로 분해되어 발효 초기에 총당 및 환원당이 다소 상승되는 것으로 판단된다. 또한 시간이 경과함에 따라 미생물의 활동이 활성화되어지며 활성화된 미생물에 의해 분해되어진 당은 쉽게 에너지원으로 이용되어졌다고 판단된다. 그러므로 시간이 경과함에 따라 총당과 환원당은 급격한 감소 경향을 보였으며 35일 후 안정화를 나타내는 것을 확인할 수 있다.

### 3.4 제지슬러지의 식물독성실험

식물독성은 중금속, 수용성염류, 유해성 유기화합물 및 휘발성물질로부터 기인된다. 이런 식물생육을 저해하는 독성물질을 제거하기 위해서 충분한 미생물 발효가 이루어져 안정한 유기물 상태가 되어야 한다. 이러한 안정한 유기물 상태에서는 식물 영양원으로 쉽게 이용될 수 있으며 신속한 발아, 초기생육의 촉진 및 탁월한 식생조성 효과를 얻을 수 있다.

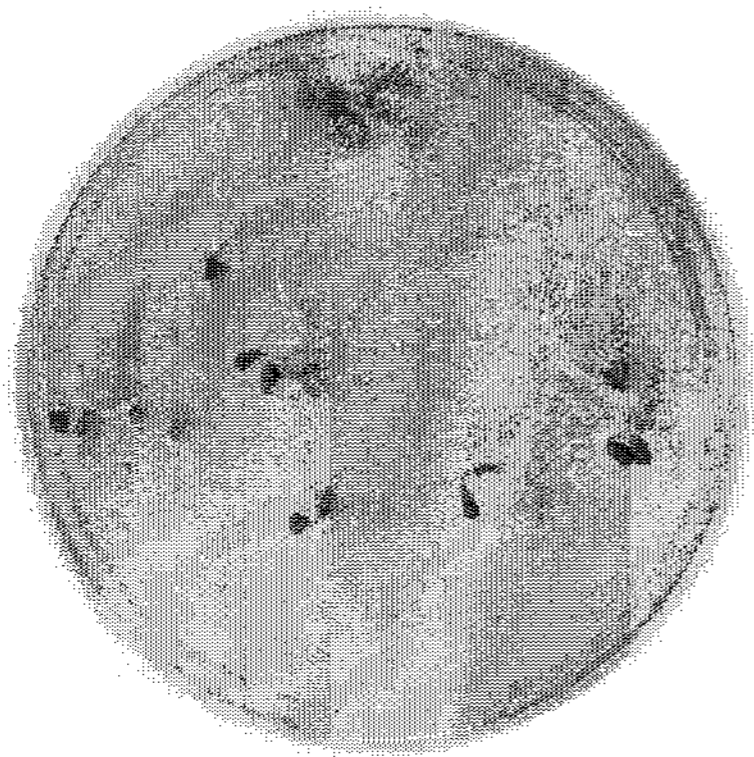


Fig. 6. Germination test during 5 days(ea. 10 of lettuce seed).

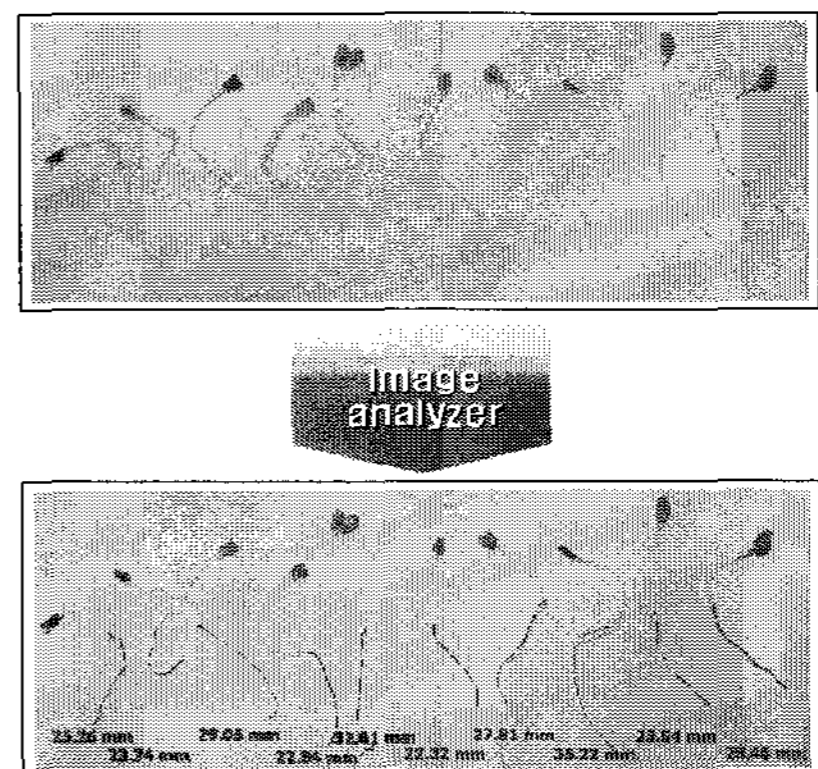
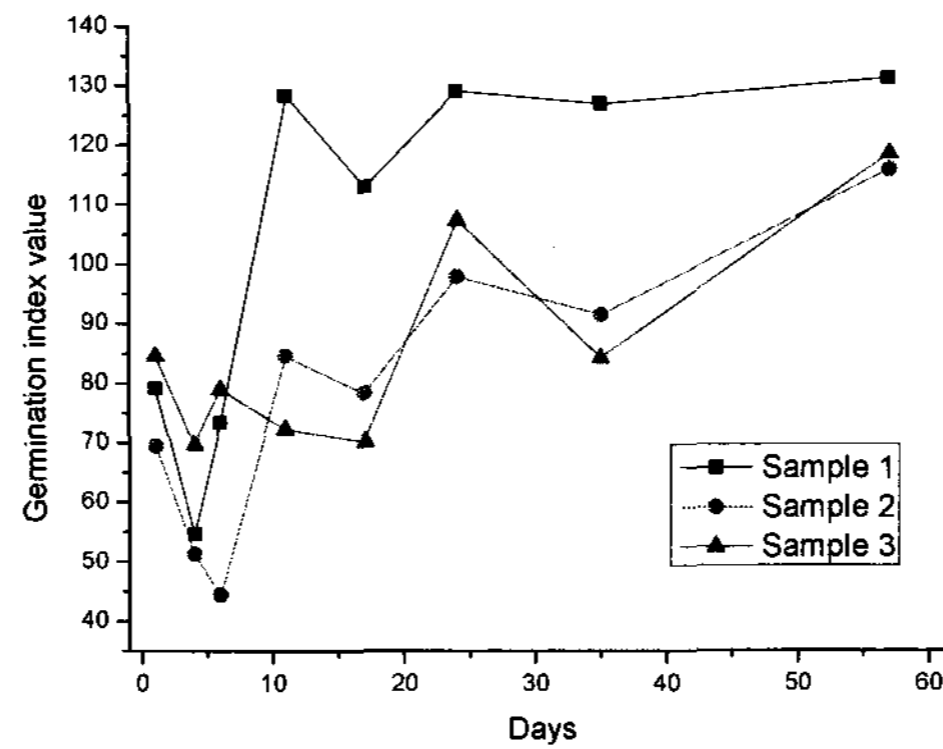


Fig. 7. Length analysis of plant root by an image analyzer.

Fig. 6은 petridish에서 상추종자 10개를 5일간 생육시킨 식물독성실험이다. 이렇게 5일간 생육시킨 상추종자를 화상분석기를 이용하여 뿌리길이의 측정을 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 8에서 식물독성실험의 G.I. 값은 발효 1일에는 80정도를 나타내지만 4-6일이 경과한 시기에서 급격하게 감소하여 50 수준을 나타내게 된다. 이 시기에는 식물뿌리에

심한 저해를 주게 될 것이며 심지어는 생육을 저해하게 될 것이다. 이후에 미생물 발효가 진행됨에 따라 G.I. 값이 120-130 수준으로 상승하여 인공상토로서 적합성이 높아짐을 알 수 있다. 80이상의 G.I. 값에서는 식물에 독성이 없다는 보고가 있다. 따라서 본 연구의 제지슬러지는 적어도 24-57일간의 미생물 발효가 반드시 선행되어야 한다고 판단된다.



**Fig. 8. Germination index value of paper sludges during the period of microorganism fermentation.**

### 3.5 57일 미생물 발효처리한 제지슬러지 인공상토의 식물생육실험

57일간 미생물 발효기술을 적용한 제지슬러지 인공상토의 안정성을 평가하기 위하여 20일간 오이 종자의 생육실험을 하였으며 Table 1에 오이 종자의 생육 정도를 나타내었다. 초장, 엽수, 엽장 등 모든 생육 조건에서 유기상토가 우수하였으며 이는 식물 발아 및 생육에 적합한 안정성을 가진다는 것과 적절한 비료성분이 포함되어 있다는 것을 의미한다. 또한 발효처리한 제지슬러지 인공상토는 유기상토에 비하여 낮은 생육 상태와 몇몇 조건에서 발아가 되지 않았다. 그러나 샘플3으로 제조한 인공상토의 경우에는 무비상토에 준하는 생육 정도를 나타내었다. 샘플3으로 제조한 인공상토는 굴참나무 목분 첨가가 상토의 물리성 개선 및 수분 보유능을 향상시켰으며, 발효과정 중 발생하는 과도한 유기물의 분해에 의한 유기성분의 손실을 보완하여 이와 같은 작용을 하였다고 판단된다.

아래의 식물생육실험에서는 비료성분 적용 정도에 따른 생육 정도의 경향성은 확인할 수 없었다. 그러므로 우선적으로 제조된 인공상토의 적합성을 향상시키기 위하여 물리성 및 안정한 유기성분의 보완이 필요하다고 사료된다.

**Table 1. Plant growth experimentation of cucumber on bed soils using paper sludge during 20 days.**

Sludge sample	Mesh size	Fertilizer level	Plant height (cm)	No. of leaves (ea)	Leaf length (cm)	Fresh weight (g)		Dry weight (g)		
						Shoot	Root	Shoot	Root	
Sample 1	Mesh 1	A	3.15	4.0	1.75	0.2650	0.0186	0.0232	0.0036	
		B	3.60	4.0	1.95	0.3137	0.0264	0.0247	0.0050	
		C	2.70	3.5	1.35	0.2137	0.0063	0.0234	0.0021	
	Mesh 2	A	3.35	4.0	1.93	0.3318	0.0182	0.0297	0.0040	
		B	3.30	4.0	2.01	0.2837	0.0085	0.0271	0.0033	
		C	2.60	4.0	1.87	0.3286	0.0088	0.0292	0.0039	
	Mesh 3	A	3.60	2.0	1.50	0.1780	0.0142	0.0182	0.0044	
		B	N/A							
		C	N/A							
Sample 2	Mesh 1	A	3.60	4.0	2.20	0.4418	0.0254	0.0338	0.0029	
		B	3.15	4.0	2.34	0.3889	0.0306	0.0316	0.0043	
		C	3.05	3.5	2.10	0.3161	0.0151	0.0229	0.0019	
	Mesh 2	A	5.00	4.5	2.17	0.4106	0.0142	0.0325	0.0032	
		B	6.00	5.0	2.70	0.6540	0.0652	0.0420	0.0057	
		C	3.55	5.0	2.14	0.4692	0.0207	0.0177	0.0027	
	Mesh 3	A	5.55	2.0	2.03	0.3221	0.0259	0.0216	0.0054	
		B	3.00	2.0	1.35	0.1377	0.0141	0.0133	0.0026	
		C	N/A							
Sample 3	Mesh 1	A	5.65	5.0	3.48	0.8248	0.0997	0.0547	0.0094	
		B	4.95	5.0	3.23	0.6771	0.0578	0.0430	0.0056	
		C	4.40	5.0	2.76	0.5352	0.0419	0.0348	0.0061	
	Mesh 2	A	6.30	5.0	3.75	1.0441	0.0778	0.0679	0.0106	
		B	7.15	5.0	3.50	0.8760	0.0995	0.0291	0.0091	
		C	5.15	5.5	3.58	0.9272	0.0667	0.4467	0.0101	
	Mesh 3	A	5.90	4.5	2.80	0.6495	0.0414	0.0488	0.0067	
		B	5.75	4.5	3.21	0.8015	0.0466	0.0504	0.0060	
		C	4.35	3.5	2.06	0.3533	0.0187	0.0307	0.0031	
Bed soil with fertilizer			8.80	5.0	4.16	1.8057	0.0833	0.0909	0.0072	
Bed soil with non-fertilizer			6.60	4.0	2.89	0.7845	0.1170	0.0532	0.0094	

Mesh size - Mesh 1: pass mesh 5 and on mesh 10, Mesh 2: pass mesh 10 and on mesh 20, Mesh 3: pass mesh 20

Fertilizer level - A: non treatment, B: fertilizer application( $P_2O_4$ : 0.52 g/L, N: 0.29 g/L,  $K_2O$ : 0.29 g/L), C: fertilizer application( $P_2O_4$ : 15 g/L, N: 10 g/L,  $K_2O$ : 10 g/L)

#### 4. 결 론

제지슬러지의 미생물발효는 열수가용성 총당 및 환원당에서 발효초기 상승과 기간경과에 따른 감소하였다. 이를 통해 활발한 미생물의 활성을 확인할 수 있었다. 식물독성 실험에서는 발효 1일에는 G.I.값이 80 정도를 나타내지만 4-6일이 경과한 시기에서 급격하게 감소하여 50 수준을 나타내었으며, 미생물발효 24-57일에서 G.I. 값은 120-130 수준으로 상승하여 인공상토로서의 이용에 적합하게 되었다. 또한 20일간 오이 종자의 생육실험은 모든 생육 조건에서 유비상토가 우수하였으나, 샘플3으로 제조한 인공상토의 경우에는 무비상토에 준하는 생육 정도를 나타냈다. 이는 굴참나무 목분 첨가가 상토의 물리성 개선 및 수분 보유능의 향상을 가져왔으며, 과도한 유기물의 분해에 의한 유기성분의 손실을 보완한 것으로 판단된다.

그러므로 미생물발효를 통해 안정화된 인공상토의 적합성을 보다 향상시키기 위해서 물리성 및 안정한 유기성분의 보완이 필요하다고 사료된다.

#### 인 용 문 헌

1. 하정욱. 식품화학실험. 형설출판사. pp.47-49. 2003.
2. 유영석. 공극개선재의 혼합비율에 따른 제지·하수슬러지의 퇴비화과정중 이화학적 변화. 학위논문 충남대학교 대학원 농화학과 식물환경화학전공. 1998.
3. Sikora, L. J. and M. A. Sowers. Factors affecting the composting process in proceeding of the international conference on composting of solids wastes and slurries. Leeds, U.K. 1983.
4. Garcia, C., T. Hermamdez and F. Cista. Study on water extract of sewage sludge compost. *Soil Sci. plant. Nutr.*, 37(3):399-408. 1991.
5. Koo J. K., Lim J. S., Moon Y. T. and I. B. Lee. A study on the artificial culture soil using alum sludge. *Jr. of KOWREC* 7(1):1-12. 1999.
6. Garcia, C., T. Hermamdez and F. Cista. Study on water extract of sewage sludge compost. *Soil Sci. plant. Nutr.*, 37(3):399-408. 1991.