

## 하수슬러지와 하수슬러지 건조연료 혼합물의 토지개량효과에 관한 연구

권기운<sup>a†</sup>, 박혜옥<sup>a</sup>, 이경호<sup>b</sup>, 김문정<sup>b</sup>, 이우원<sup>d</sup>, 류돈식<sup>c</sup>

### A Study on the Land Improvement Effect of Sewage Sludge and Sewage Sludge Dry Fuel Mixture

Gi Woon Kwon<sup>a†</sup>, Park Hye Ok<sup>a</sup>, Lee Kyeong Ho<sup>b</sup>,  
Kim Moon Jeong<sup>b</sup>, Lee Woo Weon<sup>d</sup>, Ryu Don Sik<sup>c</sup>

(Received: Jul. 28, 2020 / Revised: Sep. 18, 2020 / Accepted: Sep. 19, 2020)

**ABSTRACT:** The aims of this study is to land improvement effect of sewage sludge dry fuel mixture. The mixing ratio of sewage sludge and dry fuel was mixed at a weight ratio of 1:1 to make a mixture, experimental designone was designed as one control (0 %) site and three test groups that each mixture of 10 %, 20 %, 30 % was added. Comparison of yield after cultivation of Kenaf 90 days, in the 10 % test group the length of the stem increased by 73 % compared to control site and 20 % test group the leaf yield increased by 227 % compared to control site. It is judged that the growth rating the blooming of 30 % test group is faster than and the chlorophyll content is the highest(71.6SPAD) that of another control. In conclusion, the addition of dry fuel mixtures is effective in improving overall soil quality for plants to live.

**Keywords:** Sewage Sludge, Sewage Sludge Dry Fuel, Land Improvement Effect, Kenaf, Phosphate

**초 록:** 본 연구는 하수슬러지와 건조연료를 혼합한 혼합물에 대해 토지개량효과를 검토하기 위한 연구이다. 혼합물은 하수슬러지와 건조연료를 중량대비 1:1 비율로 혼합하여 만들었다. 1개의 대조군(0 %)부지와 혼합물을 10 %, 20 %, 30 %시비한 3개의 비교군을 조성하였다. 토양의 유효인산 함량변화는 혼합물을 시비한 비율에 따라 상관관계가 높은 것으로 확인되었다( $P < 0.05$ ). 케나프를 90일 재배 후 수확량을 비교한 결과 10 %투입된 배지에서 줄기의 길이가 대조군 대비 73 %증가를 보였으며, 잎 수확량의 경우 20 %배지에서 227 % 가장 높은 증가율을 보였다. 30 %에서는 다른 배지보다 꽃의 개화가 먼저 된 것으로 보아 성장률이 다른 배지보다 빠른 것으로 판단되며 엽록소 함량은 71.6(SPAD)으로 가장 높은 수치를 보여 조단백질의 함량이 다른 배지에 비해 높을 것으로 판단된다. 따라서 건조연료 혼합물의 투입을 통해 전체적으로 식물이 생육하기 좋은 토질로 개선하는데 효과가 있는 것으로 사료된다.

**주제어:** 하수슬러지, 건조연료, 토지개량, 케나프, 유효인산

<sup>a</sup> 수도권매립지관리공사 자원순환기술연구소 연구원(Researcher, Resource Recirculation Technology Research Center, SUDOKWON Landfill Site Management Corp)

<sup>b</sup> 수도권매립지관리공사 자원순환기술연구소 선임연구원(Senior Researcher, Resource Recirculation Technology Research Center, SUDOKWON Landfill Site Management Corp)

<sup>c</sup> 수도권매립지관리공사 자원순환기술연구소 책임연구원(Head Researcher, Resource Recirculation Technology Research Center, SUDOKWON Landfill Site Management Corp)

<sup>d</sup> 수도권매립지관리공사 자원순환기술연구소 연구소장(Research Director, Resource Recirculation Technology Research Center, SUDOKWON Landfill Site Management Corp)

† Corresponding author(e-mail: jjandoll@slc.or.kr)

## 1. 서론

우리나라의 하수슬러지 발생량은 '18년기준 약 4,172,570 톤/년<sup>1)</sup>이며 산업의 고도화 및 국민들의 생활수준이 향상되면서 하수 및 폐수 증가, 하수처리장증설 등의 이유로 하수슬러지의 양은 계속해서 증가할 것으로 예상 된다.

런던 협약으로 인해 2006년 해양오염방지법 시행규칙 개정을 통해 2012년부터 하수슬러지 처리방법 중 하나인 해양투기 방법이 전면 금지됨에 따라 슬러지의 안정적이고 지속적인 육상처리를 위해 퇴비화, 연료화, 토양화 등 재활용 기술에 대한 많은 연구가 수행되고 있다. 그 중 하수슬러지 건조연료의 경우 비료와는 다르게 함수율 30% 이하의 상태로 건조되어 생산되어 지기 때문에 변질의 우려가 낮으며 병원균이 사멸되어 취급이 용이한 장점을 가지고 있다<sup>2)</sup>.

최근 국립환경과학원의 연구에 의하면 고품연료 제품의 하나인 BIO-SRF가 다른 SRF에 비해 2배 정도 높은 미세먼지농도를 배출한다고 한다<sup>3)</sup>. 또한 신재생에너지 산업통계 자료에 의하면 슬러지고형연료 매출액은 2015년도에 236억원, 2018년도에 38억원으로 84% 대폭 감소하였으며<sup>4)</sup>, 올해 「신·재생에너지 공급의무화제도 및 연료 혼합의무화제도 관리·운영지침」이 개정됨에 따라 REC 가중치가 1.0을 적용 받던 석탄혼소 발전이 0.5로 축소되어 다른 재생연료와 비교 했을 때 하수슬러지 건조연료의 경제성이 떨어졌다고 볼 수 있다.

이와 같이 미세먼지와 중금속 등 환경문제 발생으로 인해 제조와 사용시설에 대한 규제가 강화되고 있으며, 혼소발전의 가중치 감소로 건조연료 경제성도 고품연료 산업이 침체되어 질 것으로 판단된다. 사용처가 줄어든 건조연료는 불법사용과 부적정하게 보관하는 등의 사회적 문제를 발생 시킬 수 있다.

하수슬러지는 유기성비료로 가치가 크며<sup>5)</sup> 국내 폐기물관리법 시행규칙 및 환경부 고시를 통해 하수슬러지를 토지개량제로 재활용하는 방법을 제시하고 있으며 뉴욕에서는 바이오슬리드라고 하여 골프장, 개인정원 등의 비료로 사용하여 화학비료의

사용을 줄이고 토지의 질과 보수력을 향상시키는데 사용하고 있다.

케나프란 서아프리카가 원산지로 무궁화와 아열대성 식물로 토양 속의 질소, 인산 등 양분을 흡수하는 능력이 매우 강하여 환경 정화 소재로 이용되기도 하며 온실가스 중 하나인 이산화탄소의 흡수능력이 상수리나무의 10배이고 미세먼지발생을 저감하는 효과도 있어 대기오염 문제를 해소시켜 주는 친환경 식물이다 또한 조단백질 함량이 높아 우수한 사료로써의 특성을 가지고 있으며 재배 및 관리가 비교적 쉬우며 파종에서 재배까지 약 3개월로 3모작도 가능하여 경제적 부가와 사업 확대에 효과가 있다<sup>6)</sup>. 또한 토양속의 질소 인산 등 오염물질을 흡착하는 능력이 뛰어나 환경 정화소재로도 이용되기도 한다<sup>7)</sup>.

이에 본 연구에서는 슬러지건조연료와 하수슬러지를 혼합한 혼합물을 일정비율로 시비하여 토양의 물리화학적변화에 따른 케나프 생육영향 분석을 통해 토지개량제로 활용가능성을 검토하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 실험재료

본 연구에 사용된 혼합물은 지자체에서 수도권매립지로 반입되는 소화공정을 거친 하수슬러지(이하 소화슬러지라 함)와 수도권매립지 광역 자원화 2단계 시설인 건조연료화 시설에서 생산되는 건조연료를 활용하였으며 살포기를 활용한 균일한 시비를 위해 중량비 1:1로 혼합하여 적정 함수율(40%)을 맞추어 슬러지건조연료혼합물(이하 혼합물이라 함)을 사용하였다.

### 2.2. 혼합물 배합 및 재배조건

혼합물을 조립사에 각각 0%, 10%, 20%, 30% 혼합하여 재배용 배지로 사용하였다(Fig. 1). 파종방법은 문헌<sup>8)</sup>에서 제시하는 케나프 생산성이 가장 좋은 재식거리인 20×20 cm를 유지하여 지름 30 cm, 높이가 45 cm의 화분에 3분을 파종하였다. 매일 오전.

에 1회 급수하여 수분을 공급하였으며 온도 25 ℃, 습도 22 % 온실조건에서 재배하였다. 2월27일에 파종하여 수확량이 가장 높다고 하는 90일<sup>9)</sup> 생육 후 5월27일에 수확하였다.

### 2.3. 토양 화학적 분석 및 엽록소 측정

혼합한 0 %, 10 %, 20 %, 30 % 배지를 시료채취기로 core 시료를 채취한 후 수분이 마르지 않도록 밀봉하여 김포시 농업기술센터에 토양검정을 분석 의뢰 하였으며(Table 1) 엽록소 측정은 SPAD 502를 이용 하였다. 문헌에 따르면 이 방법은 잎의 조직을 채취하여 파괴를 하지 않기 때문에 시험 결과값에 대한 오차를 보안 할 수 있다고 한다<sup>10)</sup>.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 토양 화학적 특성

조립사와 혼합물을 함량별로 섞은 토양의 분석결과는 Table 2과 같다. 혼합물이 들어있지 않은 0 % 배지에서는 전기전도도를 제외한 전 항목이 적정범위를 만족하지 않는 결과를 보였으며 10 %, 20 %, 30 %에서는 적정범위에 들어가는 항목이 증가한 것을 확인할 수 있었다. 그 중 유효인산의 경우 건조연료혼합물 함량의 변화에 따른 회귀분석결과 0.05 보다 작아 통계적으로 매우 유의하다고 판단된다.

유효인산은 식물이 가장 쉽게 이용할 수 있는 인산의 형태로 식물의 성장과 밀접한 관계를 가지고 있다<sup>11)</sup>. 인산의 함량이 증가 할수록 식생의 잎의 수, 줄기의 직경, 엽록소 함량 등 생육반응이 증가하는 경향을 보인다고 한다<sup>12)</sup>.

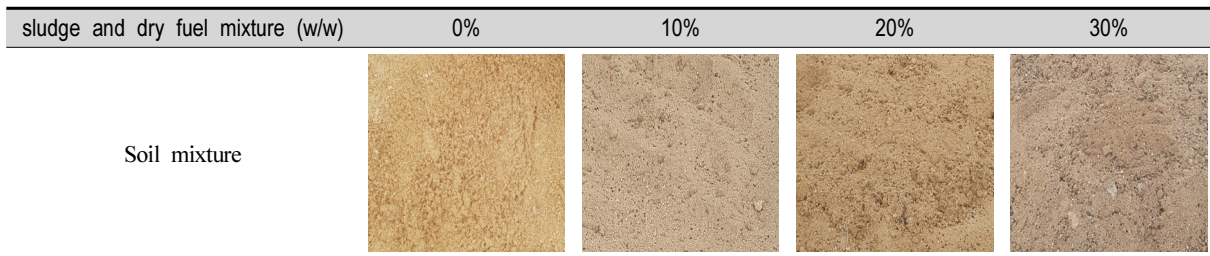


Fig. 1. Properties of test soil mixture.

Table 1. Soil Analysis Items

Item	pH	organics	phosphate	K	Ca	Mg	conductivity
unit	(1:5)	(g/kg)	(mg/kg)		(cmol+/kg)		(ds/m)

Table 2. Soil Medium Composition According to the Mixture Content Used in this Study

sludge and dry fuel mixture (w/w)	0 %	10 %	20 %	30 %	Appropriate range
pH	(1:5) 7.9	8.1	8.1	8.3	6.0~6.5
organics	(g/kg) 21	22	28	30	23~35
phosphate	(mg/kg) 153	315	448	530	200~300
K	0.19	0.26	0.29	0.36	0.3~0.6
Ca	(cmol+/kg) 7.8	6.2	5.9	5.7	5.0~6.0
Mg	2.3	1.9	1.8	1.8	1.5~2.0
conductivity	(ds/m) 0.1	0.6	1.1	1.4	2 이하

토지의 생산력을 높여 식물이 잘 자라도록 해주는 물질을 비료라고 하는데, 이 비료의 3요소가 질소, 인, 칼륨이다<sup>13)</sup>. 대체로 혼합물이 섞여 있지 않은 0% 배지와 다르게 혼합물의 혼합비가 증가할수록 질소, 인, 칼륨 등 적정범위를 만족하는 항목의 수가 증가하는 것을 확인 하였으며 혼합물이 토지를 개량하는데 효과가 있다고 볼 수 있다.

### 3.2. 건조연료혼합물의 함량별 케나프 성장 비교

건조연료혼합물을 이용한 케나프의 성장을 평가하기 위해 건조연료혼합물 0%, 10%, 20%, 30% 혼합된 배지에서 90일간 온실에서 재배하였다. 케나프 측정은 난괴법을 통해 임의로 선택하여 측정하였으며 그 결과는 Table 3와 같다(Fig. 2).

엽록소 함량은 혼합물의 함량이 0%, 10%, 20%, 30%순으로 증가함에 따라 엽록소 평균 함량이 54.1, 58.7, 68.9, 71.6으로 점차 증가하는 경향을 보였다.

줄기높이의 경우 10%배지에서 179 cm로 가장 높은 성장(무처리 대비 73%증가)을 보였다. 사료로서 활용도가 높은 잎의 수확량을 보면 줄기높이 결

과와는 다르게 20%배지에서 가장 높은 수확량 증가(227%)를 보였다. 꽃의 개화의 경우 30% 배지에서 먼저 보였는데 이는 혼합물이 식생의 성장을 촉진하여 다른 배지보다 빠른 개화시기를 보인 것으로 판단된다(Fig. 3).



Fig. 3. Kenaf growth at 10% site and blooming flowers at 30% site.









sludge and dry fuel mixture (w/w)	0%	10%	20%	30%
Yield of Stem				
Yield of Leaf				

Fig. 2. Harvest yield difference according to the mixing ratio.

Table 3. Comparison of Vegetation Growth Changes from Mixture Content

Sludge and dry fuel mixture (w/w)	Chlorophyll Contents (SPAD)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf	
				No. (EA/Plant)	Weight (g)
0%	54.1	103	10	31	120
10%	58.7	179	14	99	400
20%	68.9	161	14	125	440
30%	71.6	168	14	86	300

전반적으로 혼합물이 들어가 있지 않은 0 % 배지보다 수확량과 성장률이 높아진 것을 확인 할 수 있었으며 건조연료 혼합물이 토지를 개량하여 식생에게 영양분을 제공함으로써 성장을 촉진하는 효과를 주는 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

하수슬러지건조연료와 소화하수슬러지 혼합물의 토지개량효과를 케너프 생육모니터링을 통해 검토하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 혼합물의 사용으로 유기물, 유효인산, 칼륨, 칼슘, 마그네슘, 전기전도도 총 6가지 항목이 농업기술센터에서 권장하는 정정범위에 들어가도록 개량이 되었다. 그 중 비료의 3요소에 해당하는 유효인산이 혼합물 함량의 변화에 따른 상관관계가 가장 큰 것으로 나타났다.( $P < 0.05$ )
2. 케너프 재배를 통한 90일 모니터링 결과 혼합물의 투입량의 변화에 따라 잎, 줄기, 꽃의 성장차이를 보였다. 10 %투입된 배지에서 줄기의 길이가 무처리 대비 73 %증가를 보였으며, 잎 수확량의 경우 20 %배지에서 227 % 가장 높은 증가율을 보였다. 30 %에서는 다른 배지보다 꽃의 개화가 먼저 된 것으로 보아 성장률이 다른 배지보다 빠른 것으로 판단되며 단백질함량과 상관관계가 있는<sup>14)</sup> 엽록소 함량은 71.6(SPAD)으로 가장 높은 수치를 보여 조단백질의 함량이 다른 배지에 비해 높을 것으로 판단된다. 전체적으로 건조연료 혼합물의 투입을 통해 토질이 개량되는 것을 확인 하였으며 토양의 유효인산의 함량 증가로 인해 식생의 성장이 촉진되는 것을 확인할 수 있었다.

따라서 건조연료 혼합물이 식물이 생육하기 좋은 토질로 개선하는데 효과가 있는 것으로 사료된다.

#### References

1. Ministry of Environment, Sewer statistics in 2018, Korea. (2019).
2. Ministry of Environment, Research on optimum treatment technology for sewage sludge, Korea. (2010).
3. NIER, Development of Air Pollutants Emission Factors for the Other Fuels, Korea. (2015).
4. Korea Energy Agency, Industry Statistics of Renewable Energy in 2018, Korea. (2019).
5. Choi, J., "Effect of municipal sewage sludge application on the change of physico-chemical properties and contents of heavy metals in soils" (1998).
6. Ministry of Environment, Analysis report on eco-friendly crops, Korea. (2018).
7. Killinger, G. B., "Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) a multiuse". (1969).
8. Kang, C. H., Development of Stable Culture Techniques for Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) (2014).
9. Nam, C. H., Effects of Seeding and Organic Fertilizer Rates and Harvest time on Kenaf Yield and Feed Value. (2018).
10. Woo, S. Y., "Air Pollution Effects on the Photosynthesis and Chlorophyll Contents of Street Trees in Seoul". (2004).
11. Sea, H. N., "Comparison of Available Phosphate and Organic Matter in Reclaimed Soil". (2019).
12. Cho, N. K., "Effects of Phosphate Application Rate on Growth, Yield and Chemical Composition of *Cassia mimosoides* var. *nomame*". (2000).
13. Ryu, E. M., "Effect of Coffee Grounds' Residue on the Growth and Chlorophyll Content of Korean Wheat Sprout". (2014).
14. Shon, J. Y., "Effect of High Temperature on Leaf Physiological Changes as Chlorophyll composition and Photosynthesis Rate of Rice". (2015).