

Research article



## 혐기소화액의 pH 조절이 액비화 과정 및 종자 발아에 미치는 영향

변지은<sup>1</sup> · 이홍주<sup>1</sup> · 류종원<sup>2\*</sup> · 황선구<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>상지대학교 생명환경과학대학 박사과정, <sup>2</sup>상지대학교 생명환경과학대학 교수

## Effect of pH adjustment on the liquefaction process of anaerobic digestate and seed germination

Ji-Eun Byeon<sup>1</sup>, Hong-Ju Lee<sup>1</sup>, Jong-Won Ryoo<sup>2\*</sup>, Sun-Goo Hwang<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. Student, College of Life and Environment Science, Sangji University, 83 Sangjidae-gil, Wonju-si, Gangwon-do, 26339, Republic of Korea

<sup>2</sup>Professor, College of Life and Environment Science, Sangji University, 83 Sangjidae-gil, Wonju-si, Gangwon-do, 26339, Republic of Korea

### Corresponding authors

Jong-Won Ryoo

Sangji University, 83 Sangjidae-gil,  
Wonju-si, Gangwon-do, 26339,  
Republic of Korea

Tel : +82-33-730-0516

Fax : +82-33-730-0503

E-mail : jwryoo@sangji.ac.kr

Sun-Goo Hwang

Sangji University, 83, Sangjidae-gil,  
Wonju-si, Gangwon-do, 26339,  
Republic of Korea

Tel : +82-33-730-0512

Fax : +82-33-730-0503

E-mail : sghwang9@sangji.ac.kr

This study aimed to survey the chemical change and germination effect of anaerobic digestate after pH adjustment and aerobic treatment. The amount of ammonia (NH<sub>3</sub>) in swine slurry anaerobic digestates (SS AD) of pH 7.0 and pH 6.5 were lower than that of un-adjusted anaerobic digestate. Especially, the anaerobic digestate with pH 6.5 had the lowest NH<sub>3</sub> generation. The amount of NH<sub>4</sub>-N has been gradually decreasing in the untreated anaerobic digestate, however, the anaerobic digestates with pH 7.0 and pH 6.5 showed no significant changes. In the germination tests with different methods, the germination index (GI) of anaerobic digestates with pH 7.0 and pH 6.5 was higher than that of un-adjusted anaerobic digestate. Thus, the pH adjustment will be useful to decrease the gas generation such as NH<sub>3</sub>, which causes the odor generated from anaerobic digestate.

**Key words** : Swine slurry, pH adjustment, Germination effect

**Received** : March 3, 2021

**Revised** : April 4, 2021

**Accepted** : April 8, 2021

## 서론

혐기소화액은 혐기소화 후 배출되는 액으로 높은 비료 성분을 함유하고 있어 퇴비와 액비로 사용될 수 있는 유용한 자원이나 혐기소화액을 공공수역 등에 방류하기 위해서는 난분해성 유기물, 질소, 인이 함유되어 있어 정화처리하여 방류수 수질기준을 만족시켜 방류하여야 한다 (Kim et al., 2010; Jin, 2017). 환경부령 제 750호 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행규칙 별표 4 정화시설의

방류수 수질기준에 의하면 공공처리시설과 가축분뇨처리업자가 설치한 처리시설은 생물화학적 산소요구량이 30 mg/L 이하, 화학적 산소요구량은 50 mg/L 이하, 부유 물질량은 30 mg/L 이하 대장균수는 3,000 개/mg 이하여야 하며, 총질소는 60 mg/L 이하, 총인은 8 mg/L 이하여야 한다. 혐기소화 후 배출된 혐기소화액을 정화처리를 하게 되면 처리하는 비용이 높아져 혐기소화시설의 경제성을 악화시키는 요인이 된다 (Ryoo, 2020). 하지만, 혐기소화액을 액비화하여 농경지에 사용을 하게 되면 화학비료 대체



가 가능하여 자원 순환형 처리방법으로서 가치가 높으므로 혐기소화 후 배출되는 혐기소화액의 처리기술은 혐기소화기술의 확대 및 보급에 있어 중요한 요소가 된다 (Ryoo, 2020). 혐기소화액을 폭기처리 한 후 생산된 혐기소화발효액비를 벼 재배 시 농도별 (100%, 120%, 140%)로 사용하였을 때 수당 립수가 화학비료보다 혐기소화발효액비들이 많았고 천립중도 혐기소화발효액비 처리구들이 더 무거웠을 뿐만 아니라 벼의 생산지수가 화학비료와 큰 차이를 보이지 않아 혐기소화발효액비는 화학비료를 대체 가능할 것이라고 보고하였다 (Byeon et al., 2021).

호기성 액비화는 공기를 강제로 주입하여 유기물 분해를 촉진시키지만 암모니아 휘산을 조장할 수 있는 조건이며, 암모니아 휘산은 자연환경에 부정적인 영향을 미치 뿐만 아니라 질소 손실 등 경제적 손실 측면도 가지고 있기 때문에 악취 민원을 줄이는 동시에 비료 성분을 높이기 위해서는 산처리 기술 도입이 필요하다 (Kim et al., 2013; Ryoo, 2020). 미부숙된 퇴비나 액비를 농경지에 사용하면 우천시 하천으로의 영양성분 유출, 악취로 인한 민원 등으로 사회적 문제가 발생하고 있을 뿐만 아니라 암모니아 가스나 황화합물 등의 발생으로 작물이 피해를 입는데 암모니아에 의한 피해는 식물체의 성장점부위에서는 적게 발생되지만 중간부위 앞에서는 심하게 발생된다 (Lee et al., 2013, 2019, 2020). NH<sub>3</sub> 배출을 피하는 방법은 슬러리의 pH를 낮추는 것이며, 축산농가와 가축분뇨 자원화 시설에서는 악취물질의 생성이나 휘산을 저감시키기 위하여 다양한 방법을 이용하고 있는데 저감 방법으로 사료첨가제 급여 방법, 사료의 영양소 함량 조절 방법, 악취저감제 살포 방법, 악취저감 장치 설치 방법 등을 이용하고 있다 (Fangueiro et al., 2015; Hwang et al., 2016, 2018; Oh and Kim, 2016). pH를 조절하는 방법 중 화학물질 등을 직접 첨가하는 방법이 간접적인 방법에 비해 비용이 적게 소요되고 효과가 빨라 양돈 농장과 가축분뇨 자원화 시설에서 많이 이용되고 있는데 국내의 양돈 농장에서는 pH가 낮은 식물추출물이나 과일 부산물 발효액과 같은 액상물을 돈사 내부에 살포하여 암모니아 가스의 휘산을 줄이고 있으며, 가축분뇨 자원화 시설에서는 액비 제조 시 산성시약을 첨가하고 있다 (Hwang et al., 2018). 혐기소화액의 액비화 과정에서 pH가 상승되어 암모니아의 휘산을 초래할 수도 있기 때문에 혐기소화액의 호기성 액비화 시 악취저감 및 암모니아 휘산 방지를 위한 액비화 방법이 요구된다 (Ryoo, 2020).

## 재료 및 방법

### 1. 혐기소화액

혐기소화액은 강원도 원주 상지대학교 유리온실 (37°22' 18.1"N 127°55'35.9"E)에 위치한 혐기소화조에서 생산된 돈분 혐기소화액을 사용하였다. 돈분 혐기소화액은 돈분 슬러리 100%를 중온조건 (40°C)에서 30분 당 1회 (10분) 교반하였으며, 40일의 수리학적 체류시간 (Hydraulic retention time, HRT)으로 생산하였다. 돈분 혐기소화액 (Swine slurry anaerobic digestate, SS AD)은 pH 8.5로 약알칼리성을 나타내었으며, 전기전도도 (Electrical conductivity, EC)는 26.5 mS/cm로 나타났다. 질소전량 (Total nitrogen, T-N)은 0.40%, 암모늄태 질소 (Ammonium nitrogen, NH<sub>4</sub>-N)와 질산태 질소 (Nitrate nitrogen, NO<sub>3</sub>-N)는 각각 3,866.8 mg/kg, 28.0 mg/kg으로 나타났다.

### 2. 혐기소화액의 pH 조절 및 폭기처리

폭기처리 전 혐기소화액의 pH를 상온조건 (약 30°C)에서 황산 (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 97%)에 의하여 7.0과 6.5의 수치로 조절하였다. 혐기소화액을 폭기처리하기 위하여 브로워에 분배기와 에어호스를 연결하였으며, 링 버블러를 통해 15분마다 1 m<sup>3</sup>당 0.3 m<sup>3</sup>/air/min의 공기를 투입하였다. 30일의 폭기처리 동안 6일 간격으로 pH 수치의 변화를 관찰하였으며, 7.0과 6.5를 일정 수준으로 유지시켰다.

### 3. 암모니아 측정 및 화학적 성분 분석

폭기처리 동안 대조구, pH 7.0과 pH 6.5 혐기소화액의 화학적 성분 변화를 조사하기 위하여 6일 간격으로 암모니아 (NH<sub>3</sub>), pH, 전기전도도 (EC), T-N, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N를 측정하였다. 암모니아 농도는 가스측정기 (GV-100S, Gastec, Japan), pH는 pH meter (FEP20-K, Mettler-Toledo AG, Switzerland), EC는 EC meter (Pro 30, YSI, U.S.A.)를 이용하여 시료를 채취한 후 바로 측정하였다. 또한 농촌진흥청고시 (제 2019-11호) 비료의 품질검사방법 및 시료채취 기준에 의하여 T-N은 황산법, NH<sub>4</sub>-N은 증류법, NO<sub>3</sub>-N은 데바루다합금법을 이용하여 분석하였다.

### 4. 종자발아시험

종자발아시험은 6일 간격으로 환경부고시 (제 2018-115호)의 퇴비·액비화기준 중 부숙도 기준 등에 관한 고시 등

의 세부규정인 액비의 부속도 시료 채취기준 및 검사방법 등에 관한 규정과 Halder et al. (2016)이 제시한 방법을 이용하였다. 우선 액비의 부속도 시료 채취기준 및 검사방법 등에 관한 규정에 의하여 시료를 침전물이 없도록 완전히 섞어준 후 희석 없이 원액으로 종자발아시험을 실시하였으며 또한, Halder et al. (2016)의 액비발아지표 (Liquid Fertilizer Germination Index, LFGI) 방법에 의하여 시료의 총 고형물 (Total Solid, TS)에 따라 제시한 배율의 희석액을 2시간 동안 항온수조에서 70°C에 50 rpm으로 가동한 후 희석액을 여과하여 종자발아시험에 사용하였다. 두 가지 방법 모두 발아지수가 70이상일 때 액비의 부속완료로 판정한다.

종자발아시험에는 서호무 (*Raphanus sativus* cv. Seoho)를 사용하였다. 90 mm 크기의 페트리디쉬 (Petri Dish, SPL Life Sciences)에 NO2. 90 mm 여과지 (Filter paper, Advantec) 2매를 깔 후 시료를 투입하였다. 시료는 페트리디쉬 당 5 mL를 투입하였으며, 대조구(Distilled water)는 증류수 5 mL를 투입하였다. 투입 후 페트리디쉬 당 무종자를 30립씩 3반복으로 치상하였으며, 수분증발을 막기 위해 파라필름 (Parafilm M, Bemis)으로 밀봉하였다. 종자발아시험은 120시간 동안 온도 25 ± 1°C, 습도 85 ± 1%에 압 조건으로 실시하여 발아율과 뿌리길이를 측정하였으며, 측정값을 이용하여 상대발아율 (Relative germination ratio, GR)과 상대뿌리신장률 (Relative root elongation, RE)을 산출한 후 발아지수를 산출하였다. 상대발아율, 상대뿌리신장률, 발아지수의 산출식은 다음과 같다.

• 상대발아율 = (처리구의 발아율 / 대조구(Distilled water)의 발아율 × 100)

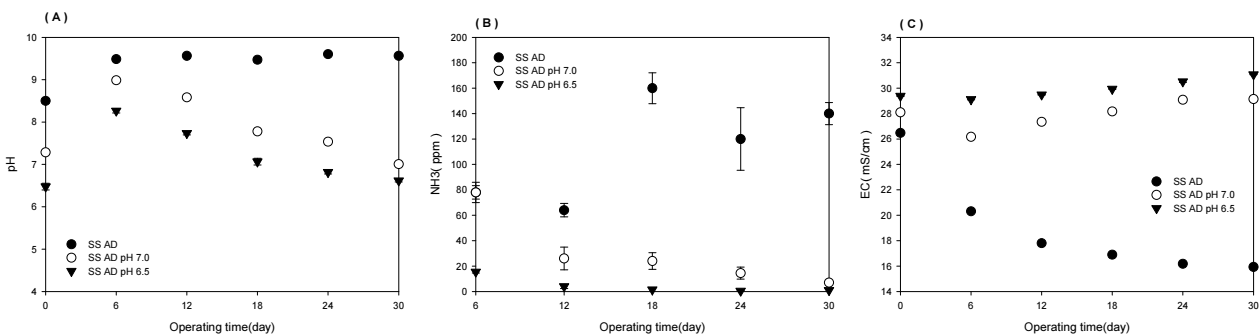
• 상대뿌리신장률 = (처리구의 뿌리길이 / 대조구(Distilled water)의 뿌리길이 × 100)  
 • 발아지수 = (상대발아율 × 상대뿌리신장률 / 100)

발아지수는 R package Agricolae을 이용하여 Duncan의 다중범위검정법 (Duncan's new multiple range test)을 통해 평균제곱오차를 고려하여 평균값을 5% 유의수준에서 비교하였다.

### 결과 및 고찰

#### 1. 폭기처리의 pH 영향과 pH 조절에 따른 암모니아 (NH<sub>3</sub>)와 전기전도도 (EC)의 변화

돈분 혐기소화액의 pH는 폭기처리 전과 비교하여 폭기처리 이후 6일차에 대조구 (Swine slurry anaerobic digestate, SS AD)는 pH 9.5, pH 7.0-혐기소화액 (Swine slurry anaerobic digestate pH 7.0, SS AD pH 7.0)은 pH 9.0, pH 6.5-혐기소화액 (Swine slurry anaerobic digestate pH 6.5, SS AD pH 6.5)은 pH 8.3으로 모두 증가한 수치를 나타내었다 (Figure 1A). 대조구 (SS AD)의 경우 폭기처리 시작 후 pH가 증가하여 폭기처리 기간 동안 9.0과 9.6 사이로 나타났으며, Kim et al. (2015)에서도 혐기소화액을 TAO반응기 처리 시 폭기처리 시간이 경과함에 따라 폭기 초기 pH 8.1부근에서 pH 9.8정도로 증가하였으며, Jeong et al. (2013)의 연구에서는 돼지분뇨 슬러리를 폭기처리하였을 때 폭기처리 시험구에서 초기에 pH가 약간 높아지다가 부속이 진행되면서 낮아지는 경향을 보였다 (Jeong et al., 2013; Kim et al., 2015). pH 7.0-혐기소화액 (SS AD pH 7.0)과 pH 6.5-혐기소화액 (SS AD pH 6.5) 모두 폭기처리



**Figure 1.** Change of pH (A), NH<sub>3</sub> (B), and EC (C) in anaerobic digestate after pH adjustment and aerobic treatment. The symbols represent the different digestates; ● SS AD (Swine slurry anaerobic digestate), ○ SS AD pH 7.0 (Swine slurry anaerobic digestate pH 7.0), ▼ SS AD pH 6.5 (Swine slurry anaerobic digestate pH 6.5). Error bars denote standard deviations with n = 3.

24일차까지 설정한 pH 값보다 높아졌는데 이는 혐기소화액이 부숙이 진행되면서 pH가 높아져 발생한 현상으로 판단된다.

암모니아는 유기물의 분해과정에서 발생하는 기체로서 온도나 pH 등을 비롯한 환경조건에 따라 달라질 수 있다 (Jeong et al., 2013). 대조구 (SS AD)는 폭기처리 후 6일차에 78 ppm, 12일차에 64 ppm으로 큰 차이를 보이지 않았으나 18일차에 160 ppm으로 급격히 증가하여 30일차에 140 ppm으로 나타났다 (Figure 1B). 이러한 결과는 pH를 조절하지 않은 혐기소화액인 대조구 (SS AD)가 부숙이 진행됨에 따라 암모니아가 급격히 발생한 것으로 보인다. Jeong et al. (2013)의 연구에서도 돼지분뇨 슬러리를 폭기처리 실시한 반응조에서 암모니아 발생 농도가 부숙 초기 증가하는 경향을 보이다가 부숙 기간이 경과되면서 급격하게 감소하였다 (Jeong et al., 2013).

pH 7.0-혐기소화액 (SS AD pH 7.0)의  $\text{NH}_3$ 는 폭기처리 6일차에 78 ppm이었으나 12일차에 26 ppm으로 급격히 낮아졌으며, 폭기처리 30일차에는 7 ppm으로 나타났다. 또한, pH 6.5-혐기소화액 (SS AD pH 6.5)은 폭기처리 6일차에 15.6 ppm, 12일차에 4 ppm으로 감소하여 30일차에 1 ppm으로 나타났다. 30일의 폭기처리 동안  $\text{NH}_3$ 를 비교한 결과 pH가 낮을수록  $\text{NH}_3$ 가 낮았다. pH를 조절하지 않은 혐기소화액인 대조구 (SS AD)가 pH 7.0-혐기소화액 (SS AD pH 7.0)과 pH 6.5-혐기소화액 (SS AD pH 6.5)보다  $\text{NH}_3$ 가 높은 이유는 pH가 높으면 암모니아 ( $\text{NH}_3$ ) 형태로 휘산되기 때문이다 (Hwang et al., 2018).

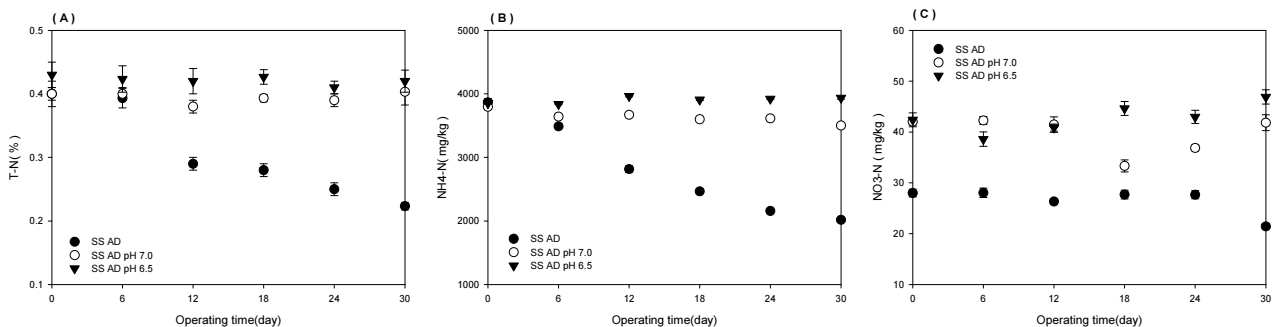
폭기처리 전 EC는 대조구 (SS AD)가 26.5 mS/cm로 가장 낮았으며, 폭기처리 기간 동안 지속적으로 감소하여 폭기처리 30일차에 EC가 15.9 mS/cm로 나타났다 (Figure 1C). Kim et al. (2015)의 연구에서도 혐기소화액을 고온

에서 호기조건으로 산화하였을 때 EC가 폭기초기 29.8 mS/cm에서 12.0 mS/cm로 감소하는 경향을 보였다 (Kim et al., 2015).

pH 7.0-혐기소화액 (SS AD pH 7.0)의 EC는 폭기처리 전 28.1 mS/cm에서 폭기처리 6일차에 26.2 mS/cm로 감소하였으나 12일차에 27.4 mS/cm로 증가한 후 지속적으로 증가하여 폭기처리 30일차에 EC가 29.1 mS/cm이었다. pH 6.5-혐기소화액 (SS AD pH 6.5)의 EC도 폭기처리 전 29.4 mS/cm에서 폭기처리 6일차에 29.1 mS/cm로 감소하였으나 12일차에 29.5 mS/cm로 증가한 후 지속적으로 증가하여 폭기처리 30일차에 31.1 mS/cm이었다. 즉, 돈분 혐기소화액 pH 조절 시 설정한 pH가 낮을수록 EC가 높았다. 이러한 결과는 EC가  $\text{NH}_4\text{-N}$ , K, Na와 상관관계를 보이기 때문에  $\text{NH}_4\text{-N}$ 이 높은 pH 7.0-혐기소화액 (SS AD pH 7.0), pH 6.5-혐기소화액 (SS AD pH 6.5)이 대조구 (SS AD)보다 EC가 높은 것으로 판단된다 (Song et al., 2006).

## 2. pH 조절 후 폭기처리 기간에 따른 질소전량 (T-N), 암모늄태 질소 ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ), 질산태 질소 ( $\text{NO}_3\text{-N}$ )의 변화

pH 조절 후 폭기처리 기간 동안 질소전량, 암모늄태 질소, 질산태 질소의 변화는 Figure 2와 같다. 폭기처리 전 질소전량 (T-N)은 pH를 조절하지 않은 대조구 (SS AD)와 pH 7.0-혐기소화액 (SS AD pH 7.0)이 0.40%, pH 6.5-혐기소화액 (SS AD pH 6.5)이 0.43%였으며, 유사한 수치를 보였다 (Figure 2A). 대조구 (SS AD)의 T-N은 폭기처리 6일차에 0.39%로 폭기처리 전과 큰 차이를 보이지 않았으나 점차 감소하여 30일차에 T-N이 0.22%로 나타났다. pH 7.0-혐기소화액 (SS AD pH 7.0)과 pH 6.5-혐기소화액 (SS AD pH 6.5)은 폭기처리 전과 비교하여 T-N는 큰 변화를



**Figure 2.** Change of T-N (A),  $\text{NH}_4\text{-N}$  (B), and  $\text{NO}_3\text{-N}$  (C) in anaerobic digestate after pH adjustment and aerobic treatment. The symbols represent the different digestates; ● SS AD (Swine slurry anaerobic digestate), ○ SS AD pH 7.0 (Swine slurry anaerobic digestate pH 7.0), ▼ SS AD pH 6.5 (Swine slurry anaerobic digestate pH 6.5). Error bars denote standard deviations with  $n = 3$ .

보이지 않았다. 즉, T-N은 돈분 혐기소화액을 pH조절하지 않았을 때 폭기처리 기간에 경과할수록 감소하는 경향을 보였으나 pH를 조절하면 폭기처리 전의 T-N을 유지하는 경향을 보였다.

폭기처리 전 암모늄태 질소 (NH<sub>4</sub>-N)는 대조구 (SS AD)가 3,866.8 mg/kg, pH 7.0-혐기소화액 (SS AD pH 7.0)이 3,796.7 mg/kg, pH 6.5-혐기소화액 (SS AD pH 6.5)이 3,852.8 mg/kg으로 유사한 수치를 보였다 (Figure 2B). 대조구 (SS AD)의 NH<sub>4</sub>-N은 폭기처리 후 지속적으로 감소하여 폭기처리 30일차에 2,017.4 mg/kg으로 나타났다. 하지만 30일의 폭기처리에서 pH 7.0-혐기소화액 (SS AD pH 7.0), pH 6.5-혐기소화액 (SS AD pH 6.5)의 NH<sub>4</sub>-N는 각각 3,502.5 mg/kg, 3,936.8 mg/kg으로 나타나 대조구 (SS AD)에 비하여 폭기처리 전·후에서 큰 차이를 보이지 않았다.

폭기처리 전 질산태 질소 (NO<sub>3</sub>-N)는 대조구 (SS AD)가 28.0 mg/kg, pH 7.0-혐기소화액 (SS AD pH 7.0)은 42.0 mg/kg, pH 6.5-혐기소화액 (SS AD pH 6.5)이 42.4 mg/kg으로 나타났다 (Figure 2C). 폭기처리 30일차에 대조구 (SS AD)가 21.4 mg/kg으로 감소하였으며, pH 7.0-혐기소화액 (SS AD pH 7.0)은 41.8 mg/kg, pH 6.5-혐기소화액 (SS AD pH 6.5)은 46.9 mg/kg으로 나타나 대조구 (SS AD)에 비하여 큰 변화를 보이지 않았다.

폭기처리 전과 후에서 pH 조절에 의한 액비별 T-N, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N을 비교한 결과, 대조구 (SS AD)에서 가장 적은 수치를 보였으며, pH 7.0-혐기소화액 (SS AD pH 7.0), pH 6.5-혐기소화액 (SS AD pH 6.5) 순으로 높은 함유량을 나타내었다. 암모니아는 분뇨의 pH가 낮으면 암모니아성 질소 (NH<sub>4</sub>)의 형태로 분뇨에 존재하게 되지만 분뇨의 pH가 높으면 암모니아 (NH<sub>3</sub>) 형태로 휘산되기 때문

에 분뇨에 낮은 농도로 존재하게 된다 (Hwang et al., 2018). 그러므로 pH를 조절하지 않은 대조구 (SS AD)는 pH가 높아 암모니아 형태로 휘산되어 NH<sub>4</sub>-N이 낮아졌으며, pH 7.0-혐기소화액 (SS AD pH 7.0)과 pH 6.5-혐기소화액 (SS AD pH 6.5)은 pH가 낮아 암모니아 형태로 휘산되지 않아 NH<sub>4</sub>-N이 폭기처리 전과 큰 차이가 없었던 것으로 판단된다.

### 3. pH 조절 후 폭기처리 기간에 따른 발아지수 (GI)의 변화

pH 조절 후 폭기처리 기간에 따른 발아지수의 변화는 Table 1과 같다. 혐기소화액을 환경부고시 (제 2018-115호)의 퇴비·액비화기준 중 부숙도 기준 등에 관한 고시 등의 세부규정인 액비의 부숙도 시료 채취기준 및 검사방법 등에 관한 규정에 의하여 원액으로 종자발아시험을 실시하였을 때 폭기처리 6일차까지 대조구 (SS AD), pH 7.0-혐기소화액 (SS AD pH 7.0), pH 6.5-혐기소화액 (SS AD pH 6.5) 모두 발아지수가 0으로 나타났다. 하지만 폭기처리 12일차에는 pH 6.5-혐기소화액 (SS AD pH 6.5)의 발아지수가 4.0으로 대조구 (SS AD)와 pH 7.0-혐기소화액 (SS AD pH 7.0)보다 높았다. 폭기처리 18일차부터 30일차까지는 pH 7.0-혐기소화액 (SS AD pH 7.0)과 pH 6.5-혐기소화액 (SS AD pH 6.5)의 발아지수는 유의한 차이를 보이지 않았으나 대조구 (SS AD)와 비교하면 높은 발아지수를 보였다.

Halder et al. (2016)이 제시한 액비발아지표 (LFGI)법을 이용하였을 때에는 폭기처리 전 pH 6.5-혐기소화액 (SS AD pH 6.5)의 발아지수가 50.7로 대조구 (SS AD)와 pH

**Table 1.** Germination index (GI) of anaerobic digestate after pH adjustment and aerobic treatment.

		0	6	12	18	24	30
Undiluted solution	Untreated	0.0	0.0	0.0 b <sup>†</sup>	0.0 b	0.0 b	0.0 b
	pH 7.0	0.0	0.0	0.2 ± 0.37 b	3.0 ± 0.57 ab	7.8 ± 2.52 a	8.2 ± 2.06 a
	pH 6.5	0.0	0.0	4.0 ± 1.64 a	5.7 ± 4.24 a	9.3 ± 3.99 a	8.7 ± 1.19 a
LFGI <sup>†</sup>	Untreated	0.0 b	0.0 b	0.0 b	0.0 b	0.0 b	0.0 b
	pH 7.0	0.2 ± 0.23 b	13.1 ± 7.62 b	57.5 ± 7.95 a	64.5 ± 9.87 a	58.0 ± 5.24 a	59.6 ± 1.94 a
	pH 6.5	50.7 ± 1.82 a	47.7 ± 10.09 a	49.8 ± 9.36 a	58.0 ± 13.11 a	57.8 ± 10.11 a	49.0 ± 12.10 a

<sup>†</sup> The diluted solution was generated by using the liquid fertilizer germination index (LFGI) method.

Results are the mean ± SD of 3 independent experiments.

<sup>‡</sup> Letters indicate a statistically significant difference between swine slurry anaerobic digestates within the same day of each solution according to Duncan's new multiple range test (DMRT) at *p* ≤ 0.05.

Means with the same letter are not significantly different.

7.0-혐기소화액 (SS AD pH 7.0)보다 높았으며, 폭기처리 6일차에도 pH 6.5-혐기소화액 (SS AD pH 6.5)의 발아지수가 47.7로 가장 높은 수치를 보였다. 폭기처리 12일차 이후 pH 6.5-혐기소화액 (SS AD pH 6.5)과 pH 7.0-혐기소화액 (SS AD pH 7.0) 사이에서 발아지수에 대한 유의한 차이를 보이지 않았으며, 대조구 (SS AD)의 경우에는 발아지수가 0을 보였다. 돈분 혐기소화액의 pH 조절 후 폭기처리하는 pH를 조절하지 않고 폭기처리하는 것에 비해 원액과 LFGI법 모두에서 높은 발아지수를 보였다. 이는 pH를 조절하지 않은 혐기소화액보다 pH를 조절한 혐기소화액이 암모니아 발생이 적어 발아지수가 더 높았던 것으로 판단된다.

## 결론

본 시험은 돈분 혐기소화액의 pH를 조절한 후 폭기처리를 실시함으로써 암모니아 발생 농도를 알아보고 폭기처리 기간 동안 화학적 성분 변화와 종자발아에 미치는 영향을 알아보기 위해 실시하였다. 대조구 (SS AD)는 폭기처리 18일차부터 30일차까지 100 ppm 이상의 NH<sub>3</sub>가 발생하였으며, pH 7.0-혐기소화액 (SS AD pH 7.0)은 폭기처리 12일차부터 30 ppm 이하가 발생하여 30일차에 NH<sub>3</sub>가 7 ppm이 발생되었다. pH 6.5-혐기소화액 (SS AD pH 6.5)의 NH<sub>3</sub>는 폭기처리 24일차부터 1 ppm 이하가 발생되었다. 산성화-공기 처리 후 저장된 돈분 슬러리에서 나오는 NH<sub>3</sub>의 평균 배출량은 동일한 조건에서 저장된 비 산성화 돈분 슬러리에서 나오는 NH<sub>3</sub>의 평균 배출량보다 유의하게 낮았다 (Dai and Blanes-Vidal, 2013).

NH<sub>4</sub>-N은 대조구 (SS AD)의 경우 폭기처리가 진행될수록 감소하였으며, pH 7.0-혐기소화액 (SS AD pH 7.0)과 pH 6.5-혐기소화액 (SS AD pH 6.5)은 폭기처리 전·후 큰 차이를 보이지 않았다. pH 7.0-혐기소화액 (SS AD pH 7.0)과 pH 6.5-혐기소화액 (SS AD pH 6.5)의 경우 pH가 낮아 암모니아 (NH<sub>3</sub>) 형태로 휘산되지 않아 NH<sub>4</sub>-N이 폭기처리 전과 큰 차이를 보이지 않았던 것으로 판단된다. 이와 같이 pH 조절한 후 폭기처리한 혐기소화액을 저장할 경우 NH<sub>3</sub> 배출량이 낮을 것으로 판단된다.

혐기소화액을 환경부고시 (제 2018-115호)의 퇴비·액비화기준 중 부숙도 기준 등에 관한 고시 등의 세부규정인 액비의 부숙도 시료 채취기준 및 검사방법 등에 관한 규정에 의하여 원액으로 종자발아시험을 하였을 때와 Halder et al. (2016)이 제시한 액비발아지표 (LFGI)법을 이용하

여 종자발아시험을 하였을 때 모두 pH를 조절한 후 폭기처리한 혐기소화액들에서 발아지수가 높았다.

혐기소화액을 후처리 없이 직접 농경지에 사용할 수 있으나 직접 농경지에 살포 할 경우 약해, 악취, 점도로 작물 사용에 적합하지 않은 경우도 있어 안정적인 혐기소화액비를 생산하기 위해서는 후처리과정이 필요하다 (Byeon et al., 2020). 후처리 과정으로 폭기처리를 하게 되면 공기의 강제주입으로 암모니아 휘산을 조장할 수 있는 조건이 되는데 질소 손실을 줄이는 동시에 악취 민원을 줄이기 위해서는 산처리 기술 도입이 필요하다 (Kim et al., 2013; Fangueiro et al., 2015; Ryoo, 2020).

## 사사

본 연구는 농촌진흥청 연구과제인 가축분뇨와 농업분야 재활용 자원을 이용한 통합혐기소화 및 혐기소화액 처리기술 개발 (PJ012851022019)과제와 2021년 상지대학교 교내 연구비 지원에 의해 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

## 인용문헌

- Byeon, J.E., Lee, H.J., Hwang, J.G., Rhim, T.J., Ryoo, J.W., 2020. Maturity evaluation and determination of aeration time using germination index of Co-digestates. *Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association*, 28(2), 5-13.
- Byeon, J.E., Lee, H.J., Ryoo, J.W., Hwang, S.G., 2021. Effect of different liquid manure anaerobic digestates on the growth and yield of rice and the optimum application concentration. *Korean Journal of Crop Science*, 66(1), 97-104.
- Dai, X.R., Blanes-Vidal, V., 2013. Emissions of ammonia, carbon dioxide, and hydrogen sulfide from swine wastewater during and after acidification treatment: Effect of pH, mixing and aeration. *Journal of Environmental Management*, 115, 147-154.
- Fangueiro, D., Hjorth, M., Gioelli, F., 2015. Acidification of animal slurry - a review. *Journal of Environmental Management*, 149, 46-56.
- Halder, J.N., Kim, S.R., Kang, T.W., Yabe, M., Lee, M.G., 2016. Establishing a method to evaluate the maturity of liquid fertilizer by liquid fertilizer germination index (LFGI). *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University*, 61(2), 417-426.

- Hwang, O.H., Lee, M.H., Kim, K.H., Han, D.W., Lee, S.R., Kwag, J.H., Cho, S.B., 2016. The effect of *Chamaecyparis obtus* extract on the concentrations of odorous compounds and odor activity value from air in swine feeding operation. *Journal of Odor and Indoor Environment*, 15(4), 289-295.
- Hwang, O.H., Park, S.K., Jung, M.W., Han, D.W., Nho, W.G., Cho, S.B., 2018. Effects of pH modulation on the concentrations of odorous compounds from pit slurry of a pig operation building. *Journal of Odor and Indoor Environment*, 17(1), 1-10.
- Jeong, K.H., Khan, M.A., Lee, M.G., Kim, J.G., Han, D.W., Kwag, J.H., 2013. Effect of aeration on fertilization and sludge accumulation of pig slurry. *Journal of Animal Environmental Science*, 19(1), 47-54.
- Jin, G.R., 2017. Study on nitrogen removal from anaerobic digestate using aerobic granular sludge. M.S. Dissertation, Myongji University.
- Kim, H.G., Lee, D.S., Jang, H.N., Chung, T.H., 2010. Anaerobic digestion technology for biogas production using organic waste. *Journal of the Korea Organic Resource Recycling Association*, 18(3), 50-59.
- Kim, S.R., Kim, H.J., Halder, J.N., Rhee, J.H., Shin, M.C., Kim, T.H., Lee, M.G., 2015. Application of the thermophilic aerobic oxidation (TAO) system to anaerobic digestate stabilization in Korea. *Journal of Animal Environmental Science*, 21(1), 21-28.
- Kim, T.Y., Kim, S.Y., Chang, H.H., Yun, H.B., Lee, Y.B., 2013. Evaluation of ammonia emission from liquid pig manure composting system with forced aeration. *Korean Journal of environmental Agriculture*, 32(4), 366-368.
- Lee, I.S., Kim, N.S., Cho, H.K., Jon, Y.J., Kim, C.G., Park, H.B., 2013. An implementation of a landfill-type ammonia gas measuring system in the greenhouse. *Journal of Korean Institute of Information Technology*, 11(3), 9-17.
- Lee, S.H., Jeong, G.H., Lee, D.J., Lee, D.H., Jang, Y.N., Kwag, J.H., 2019. Evaluation of composting characteristics according to the air supply change in farm-sized swine manure. *Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association*, 27(3), 49-61.
- Lee, S.H., Jeong, G.H., Lee, D.J., Lee, D.H., Kwag, J.H., 2020. Evaluation of parameters affecting composting of Hanwoo manure. *Journal of Korea Society of Waste Management*, 37(2), 124-132.
- Oh, S.E., Kim, K.Y., 2016. On-site evaluation of reduction effect of odorous compounds emitted from pig building by air cleaner operation. *Journal of Odor and Indoor Environment*, 15(1), 1-5.
- Ryoo, J.W., 2020. Effect of pH adjustment by adding sulphuric acid on chemical properties in aerobic liquefying process of Co-digestate of swine manure and apple pomace. *Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association*, 28(3), 5-14.
- Song, S.T., Kim, M.C., Hwang, K.J., 2006. Determination of nutrient contents of liquid pig manure and the correlation of components as fertilizer in western Jeju area. *Journal of the Korean Society of Grassland Science*, 26(1), 15-24.