

태양광 · 풍력 복합 발전을 적용한 축산 폐기물 처리 시스템

김영훈*, 노인배*, 박지호*, 우성훈**, 박승조**, 우정인*

* 동아대학교 전기공학과, ** 동아대학교 환경공학과

The Application of Interconnection Photovoltaic-Wind Hybrid Generation System for Stock Raising Waste Disposal System

Y.H. Kim*, I.B. Noh*, J.H. Park*, S.H. Woo**, S.J. Park**, J.I. Woo*

* Dong-A Univ. Electrical Eng., ** Dong-A Univ. Environment Eng.

ABSTRACT

In this paper, we applied the Utility Interactive Photovoltaic-Wind Hybrid Generation System for stock raising waste disposal system.

For the power consumption reduction of proposed system, we used the electromotive control system.

So as to verify the propriety of proposed system, we made a Pilot Plant and examined the system.

하여 전력을 공급하므로써 전력비용을 경감을 하고자 한다. 또한, 분뇨처리조의 내부 온도 25℃~30℃의 유지와 분뇨 습도의 유지 및 Bio gas 확산도에 따른 분뇨 혼합기 모터의 가변속, 토크 제어를 통하여 에너지경감 효과를 증대시키고자 하였다.

2. 태양광 · 풍력 복합 발전을 적용한 축산 폐기물 처리 시스템

2.1 시스템 개요

1. 서론

우리나라의 농·축산업은 국토의 효율적 이용을 위하여 대규모화가 진행되고 있다. 양축농가의 거대화에 따른 축산 배설물의 처리에 최근들어 KISI Compo, CABR, 3N-system 등 고품 퇴비화를 통한 축산 분뇨 처리 시스템이 축산농가에 반입 설치되어 있다. 그러나, 이러한 축산 배설물 처리장치들은 대용량의 연료비와 전력사용량을 요구하고 있고, 기후조건 및 주변환경을 고려하지 않기 때문에 전력의 낭비가 더욱 가중되고 있다. 따라서 양축농가에서는 가축 배설물을 하천이나 해양에 방류 및 방치하여 환경파괴의 원인이 되고있다.

축산 배설물을 퇴비화하는 시스템에 있어서 요구되는 전력의 대부분은 분뇨처리조의 적정온도 유지, 분뇨의 수분함유량 유지 및 분뇨와 발효제의 혼합장치의 가동에 소모된다. 기후 및 기상조건에 따라 분뇨처리조의 온도와 유입되는 분뇨의 수분함유량이 다르기 때문에 조건에 맞는 제어가 요구되고 있다.

본 논문에서는 돈축폐기물의 발효조에서 발효적정온도 25℃로 유지시키는 시스템을 구성하고, 태양광과 풍력의 복합발전 시스템을 계통전원과 연계

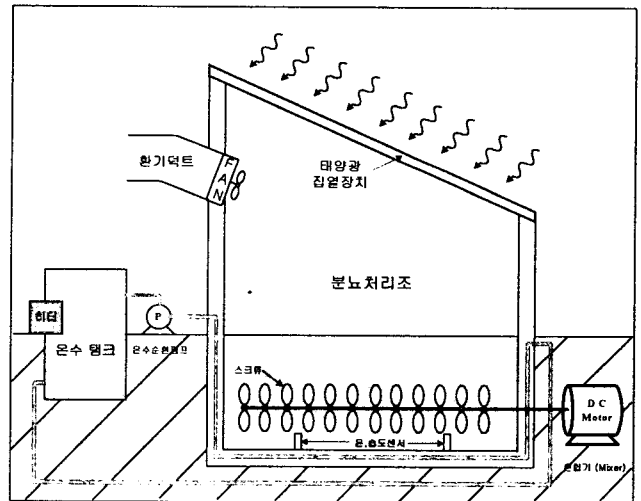


그림 1 분뇨처리조의 구조

그림 1은 제안한 분뇨처리조의 구조를 나타내었다. 분뇨발효조는 전반적인 열손실 개선을 위하여 반 지하식으로 설계하였으며, 온도·습도의 검출을 위하여 분뇨처리조에 HMP 230 humidity & temperature transmitter 온·습도 센서를 설치하였고, 특히 겨울철에 분뇨의 적정온도를 유지하기 위하여 온수 열교환기와 환기용 FAN을 설치하였다.

그리고, 효과적인 분뇨의 발효를 위하여 혼합기를 설치하였다. 또한 기상조건이 양호할 경우에는 태양광을 직접 채광함으로써 분뇨처리조의 내부온도를 가열시킬 수 있도록 태양광 집열장치를 설치하였다.

제안된 시스템의 전동제어 시스템의 블록도를 그림 2에 나타내며, 분뇨의 도입벨트 시스템, 적정 발효온도 25℃유지 보일러 Heating 시스템, Belt Filter 여과 후 Filter Cake의 공정을 가진다. 전체 시스템의 전원은 계통연계형 태양광·풍력 복합발전 전력으로 공급한다. 공급된 전원은 인버터를 이용하여 각 모터에서 제어전원으로 공급된다. 이때, 인버터의 게이트신호는 최적발효 공정에 따르는 지정값을 추종하고, 분뇨온도, Bio Gas, 산도, 공극도 검출에 의해서 범용 마이크로프로세서(80C196KC)를 사용한 PID제어 알고리즘에 따라 제어 패턴으로 발생된다.

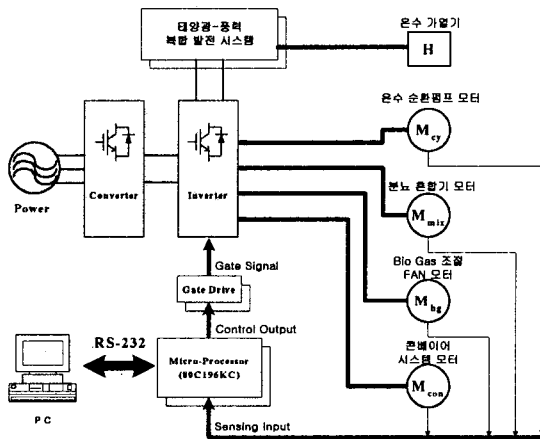


그림 2 전동 제어 시스템 블록도

2.2 온도·습도 제어장치

분뇨처리조로 운반된 분뇨를 효과적으로 퇴비화하기 위하여 분뇨의 수분 즉 습도조절과 적정온도 유지가 필요하다. 분뇨의 발효는 분뇨가 함유하고 있는 수분량이 65%~70%이고, 분뇨의 온도가 25℃~30℃일 경우 최적의 발효상태를 보이고 있다.

기존의 시스템은 전열 히터를 사용함으로써 전력 소모량이 크며, 또한 분뇨 내부의 가열이 어렵다는 단점을 가지고 있다.

따라서, 태양광 및 풍력 발전을 이용한 온수저장 Tank에 의하여 발효곡선에 따르는 온도를 유지시킨다. 또한 발효촉진을 위해 분뇨를 교반시키고, 공극화를 주어 pH를 조정할 수 있는 전동시스템을 갖는다.

본 논문에서는 발효를 시킴에 있어서 최적의 조

건을 유지하기 위하여 온·습도 센서인 HMP 230 humidity & temperature transmitter를 이용하여 온도와 습도를 검출하였다. 그리고 검출된 데이터를 범용 마이크로 프로세서(80C196KC)에 입력하여 PID제어기를 통한 전기온수가열장치 및 환기 FAN을 조절함으로써 최적의 조건을 유지하도록 하였다.

2.3 전원 공급 시스템의 개요

그림 2에서의 전원 공급 시스템은 계통 연계형 태양광·풍력 복합발전 시스템이다. 태양전지 어레이와 정류된 풍력 발전기의 발전전력은 온수가열기로 직접 연결되고, 또한 인버터와 연결되어 AC 전원으로 변환하게 된다. 그리고, 태양광발전 시스템과 풍력발전 시스템은 지배 자연환경요소에 상호보완적이지만, 천후조건에 의하여 복합발전 시스템의 발전전력이 부족한 경우 지속적인 축산 배설물 처리를 위하여 상용 계통 전원과 연계하여 전원을 공급한다. 3Φ 상용전원은 컨버터를 통하여 DC 전원으로 제어 정류된 후 복합발전 시스템의 DC 전원과 링크되어 인버터에 공급된다.

본 논문에서 사용한 태양광 발전기는 VLX 53 모듈 모델(최대 개방전압: 600V, 직렬 퓨즈: 5A, 온도: 25℃, 최대전력: 53W, 최대전력전압: 17.2V, 최대전력전류: 3.08A)을 사용하였다. 그리고, 풍력발전기는 BWC1500(시동 풍속: 3.6 m/s, 정격풍속: 12.5 m/s, 회전속도: 13.4m/s, 최대설계풍속: 54 m/s, 정격전력: 1500 Watts, 회전자 지름 3.05 m, 무게: 76 Kgs)를 사용하여 실험을 수행하였다.

2.4 제안한 시스템의 사용 부하 데이터

표 1 제안된 시스템의 구동 전력 요구량

| | 용량 [Wh] | 1일 [KWh] | 1개월 [KWh] | 1년 [KWh] |
|----------------|---------|----------|-----------|----------|
| Conveyor Motor | 100 | 0.4 | 12 | 144 |
| Biogas 조절 FAN | 3.6 | 0.09 | 2.6 | 32 |
| 온수순환 펌프 | 40 | 0.96 | 28.8 | 345.6 |
| 온수탱크 가열기 | 350 | 8.4 | 252 | 3024 |
| 혼합용 Motor | 200 | 4.8 | 144 | 1728 |
| 합 계 | 693.6 | 14.65 | 439.4 | 5143.6 |

표 1과 표 2는 제안한 시스템을 Pilot Plant에서 분뇨처리조는 1.5m×1.5m×1.5m로 제작하여 분뇨 1톤의 용량으로 실험한 소비 전력량을 나타낸다.

표 1은 각 부하의 소비 전력량을 1일, 1개월, 1년 단위로 나타내었다. 분뇨를 축사에서 분뇨처리조로 운반하는 Conveyor 장치는 분뇨가 일정량 저장되면 수송하므로 약 4시간 가동시킨다. 그리고 나머지 시스템은 24시간 무휴의 운전을 위하여 항상 동작을 한다.

발효의 최적온도 25℃의 유지는 여름(상온 25℃)의 경우는 태양광의 직접 집열과 Bio Gas 조절 FAN에 의하여 유지한다. 그러나 겨울(상온 5℃)의 경우는 발효조 내부의 온도를 최적온도(25℃)로 유지하기 위해서는 지속적인 가열을 필요로 한다.

본 논문에서는 복합발전을 통한 전력으로 보일러의 물 200kg을 완전 발효에 요구되는 시간인 144시간 동안 40~80℃로 가열 유지하여 온수 순환 펌프로서 공급한다. 이때, 물 200kg의 가열에 요구되는 전력은 350Wh이다.

표 2 제안한 시스템의 축산 배설물 처리 데이터

| | 1 일 | 1 년 |
|------------|---------------------|---------------|
| 처리 분뇨량 | 1 (톤) | 365 (톤) |
| 크 기 | 1.5 × 1.5 × 1.5 (m) | |
| 소 비 전 력 | 14.65 (kWh) | 5,143.6 (kWh) |
| 1톤당 처리소요시간 | 144 (시간) | |

표 2는 제안한 시스템의 축산배설물 처리에서의 데이터를 나타내었다. 제안된 시스템으로 1톤의 배설물을 처리하는 과정을 수행했을 경우 분뇨온도 15℃ 상승에 소요되는 소비전력은 1일동안 약 14.65 kWh가 요구된다. 그리고 분뇨 1톤의 퇴비화에 소요되는 시간은 144시간으로 나타났다.

3. 태양광 · 풍력 복합 발전 시스템

그림 3에 2000년도 부산지역에서 발생한 월별 평균 풍속과 태양전지의 수평면 일사량을 그래프로 나타내었다.

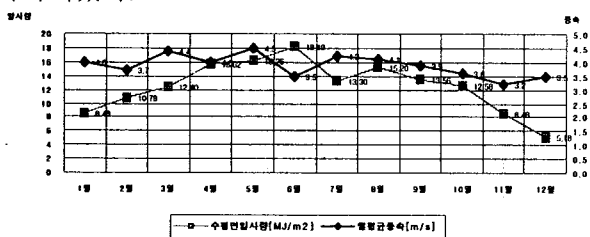


그림 3. 2000년 부산지역 월별 평균풍속과 수평면 일사량

그림 4와 그림 5는 각각 태양광 발전기의 월별 일평균 발전량과 풍력 발전기의 월별 일평균 발전량을 그래프로 도시하였다. 그림 4의 데이터를 근거로 하여 1년간의 태양광 발전기의 발전전력을 계산하면 식 (1)과 같다. 그리고, 그림 5의 데이터를 근거로 하여 식 (2)와 같은 풍력발전기의 1년간의 발전전력량을 얻을 수 있다.

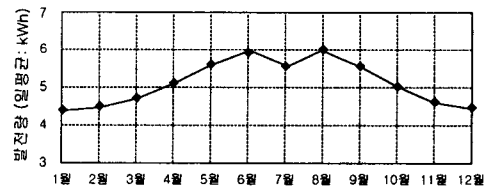


그림 4 태양광 발전기의 월별 일평균 발전량

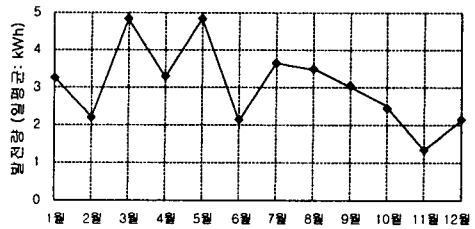


그림 5 풍력 발전기의 월별 일평균 발전량

$$P_{s,y} = 136.4[kWh] + 126.0[kWh] + 145.7[kWh] + 154.5[kWh] + 176.7[kWh] + 182.9[kWh] + 168.0[kWh] + 183.0[kWh] + 168.0[kWh] + 155.0[kWh] + 141.0[kWh] + 139.5[kWh] = 1,876.7[kWh] \quad (1)$$

여기서 $P_{s,y}$ 는 태양광 발전 시스템의 1년간 출력이다.

$$P_{w,y} = 102.0[kWh] + 76.0[kWh] + 144.4[kWh] + 98.6[kWh] + 152.9[kWh] + 65.8[kWh] + 127.4[kWh] + 110.4[kWh] + 90.4[kWh] + 76.4[kWh] + 41.1[kWh] + 68.0[kWh] = 1,154.1[kWh] \quad (2)$$

여기서 $P_{w,y}$ 는 태양광 발전 시스템의 1년간 출력이다.

따라서 태양광 · 풍력 복합발전을 이용한 1년 동안의 전력생산량은 약 3,030.8kWh임을 알 수 있고, 이 전력생산량은 제안한 시스템의 1년간 총 전력사용량의 약 68%의 전력을 충당할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 축산 배설물을 처리하는데 있어서

환경오염을 억제하고, 배설물 처리에 요구되는 에너지 소비량의 감소와 높은 효율의 퇴비화공정을 가지는 시스템을 구성하였다.

제안된 시스템은 태양광·풍력복합 발전시스템을 축산 폐기물 처리 시스템에 적용하여 요구전력량을 대체에너지로서 충당하도록 구성하였다. 그리고, 분뇨처리조의 구조를 변경·설계하므로서 분뇨처리에 소요되는 에너지량을 절감하였고, 수조 내부의 온도 및 습도는 발효를 위한 최적 조건으로 제어하였다. 또한, 분뇨의 효과적인 분쇄 및 교반을 위하여 분뇨혼합기의 모터를 가감속, 토크로 제어하였다.

태양광·풍력의 발전전력에 관한 데이터를 고찰한 결과 연간 약 3,000 kWh의 발전 전력량을 얻으므로 제안한 축산 배설물 처리시스템의 전체 소요 전력 5143.6 kWh에 대해 약 58%의 전력 수요량을 충당할 수 있었다.

본 논문에서는 분뇨의 유기물질 함유성분에 따른 최적의 분뇨 발효공정 특성 곡선을 추출하고, 발효조 내부 온도를 25℃로 유지하고, 혼합기를 사용하여 분뇨의 교반으로 분뇨 공극 및 pH의 조절을 Micro Processor를 사용하여 최적의 조건인 특성 곡선에 추종하는 전력제어를 수행하므로서 기존의 8일 공정을 6일 공정으로 단축할 수 있었다.

또한, 경비 절감에 의한 축산 배설물 처리 시스템의 년중 무휴의 연속가동으로 분뇨 및 폐수의 완전처리가 가능하여 환경오염 방지에 일조를 할 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] Sollfrank U., Kappeler T. and Gujer W., "Temperature affects on wastewater characterization and the release of soluble inert organic material", Wat. Sci. Tech., Vol. 25, No. 6, pp. 33~41, 1992.
- [2] George B. W., and David D., "Measuring Compost Stability; Process Control", BioCicle, 1986.
- [3] Nakasaki K., Shoda M., and Kubota H., "Effects of bulking agent on the reaction rate of thermophilic sewage sludge composting", J. Ferment. Tech., Vol. 64, No. 6, pp. 539~544, 1986.
- [4] 小林廣武, 瀧川 清, 武田行弘, "太陽光 發電システムにおける蓄電池運用法の検討 - 大規模蓄電池システムの運轉特性シミュレーション-", 電力中央研究所報告, 研究報告, T91071.
- [5] Navid R. Zargari and Géza Joós, "Performance investigation of a current-controlled voltage regulated PWM rectifier in rotating and stationary frames", IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 42, No. 4, pp. 396~401, 1995.
- [6] K. J. Astrom, et al., "Automatic tuning of PID Controller", Instrument Society of America, 1998.