

C-2. 계절별 발효 영향인자의 최적화

개발목표

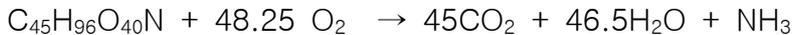
100 kg/일의 처리용량을 갖는 발효소멸 장치에서 계절의 경과에 따라 변화할 수 있는 외부조건과 음식물 쓰레기의 성상 조건에 따른 운전성 예측 및 대응력 구비

개발내용

□ 발효소멸 장치의 운전조건에 따른 소요 공기량 예측

- 산소공급을 위한 공기공급량

음식물 쓰레기의 특성이 함수율 80 %, 분해가능물질 95 %, 고위 발열량 4,297kcal/kg이라고 하고 화학양론식이 다음과 같다는 전제하에 산소공급을 위한 공기공급량 산정



- 열량제거를 위한 공기공급량

입구 공기 온도가 20℃이며, 출구 공기는 포화상태로 배출됨을 가정하에 적정운정온도 (320- 50 ℃) 유지하기 위하여 잉여열량을 제거를 위한 공기량 산정

- 음식물 쓰레기의 고위발열량 = 4,297 kcal/kg ds
- 음식물 쓰레기 저위발열량 = 4,297 kcal/kg ds x 0.2 kg ds/kg wet food = 859.4 kcal/kg wet food
- 증발열 = x * 수분증발량 * 585.8
- 수증기의 현열변화 = x * (수분증발량 + 입력수증기량) * 0.44 *(55-20)
- 공기의 현열변화 = x * 0.24 * (55-20)

여기서, 20℃에서 증발열 = 585.5 kcal/kg-℃

수증기의 비열 = 0.44

공기의 비열 = 0.24

수분증발량 : kg water/kg dry inlet air

입력수증기량 : kg water/kg dry inlet air

- 수분제거를 위한 공기공급량

정상상태(steady state)에서 투입 음식물 쓰레기 중 수분 전체를 제거하기 위한 공기공급량이며, 출력 수분량에서 입력 수분량을 제외한 양임

- 포화수증기압(Antoine Equation)

$$\log_{10} p_{vs} = \frac{a}{T_a + b}$$

여기서, PVS = 포화 증기압, mmHg

$$a = -2238$$

$$b = 8.896$$

Ta = 절대온도

- 실제 증기압

$$PV = RHAIR \times PVS$$

여기서, PV = 실제증기압

RHAIR = 상대 습도

PVS = 포화 증기압

- 비습도 (specific humidity, 습공기량/건공기량)

$$W = (18.05/28.96)[PV/(PAIR - PV)]$$

□ 발효소멸 장치의 운전성 예측 및 적정 운전

실제 100 kg/일 발효소멸장치 운전상황으로 공기공급량에 의하여 수분 및 열량을 배출하는 조건에서 시뮬레이션 및 예측

- 통상적인 상태에서 발효소멸 특성 예측

- 시뮬레이션 조건 : 함수율 70 %, 유기물량 90 %, 기온 20℃, 고위 발열량 4,724 kcal/kg

- 김장철 야채위주 배출조건에서 발효소멸 특성 예측

- 시뮬레이션 조건 : 함수율 70 %, 유기물량 90 %, 기온 20℃, 야채 발열량 3,000 kcal/kg

- 겨울철 ·외기온도가 낮은 경우 발효소멸 특성 예측

- 시뮬레이션 조건 : 함수율 70 %, 유기물량 90 %, 고위 발열량 4,724 kcal/kg, 기온 20℃ 이하

최종성과

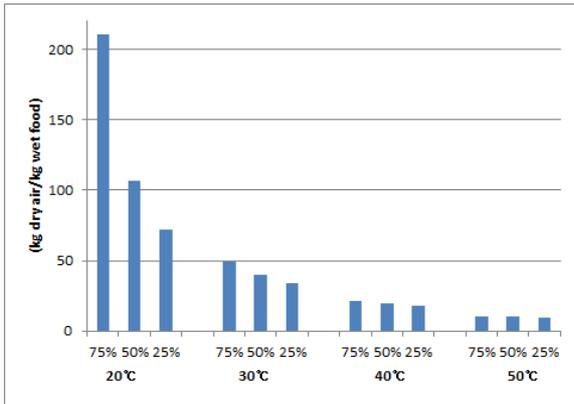
□ 산정 공기요구량의 비교

- 산소공급을 위한 공기 요구량 : 1.064 kg Air/kg wet food 임

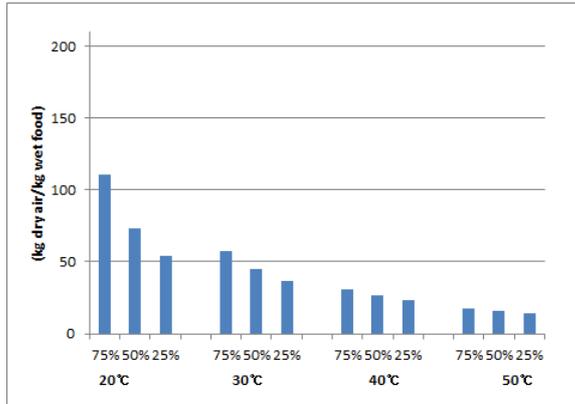
- 수분제거를 위한 공기공급량은 운전온도의 증가에 따라 크게 감소하며, 50℃ 운전온도 대비 20℃ 운전온도에서 약 72~210배의, 30℃ 운전온도에서 약 34~49 배, 40℃ 운전온도에서 약 17~21배, 50℃에서 10 배 내외의 수분제거 공기량을 필요로 함

- 열량제거를 위한 공기요구량은 출구온도가 높아질수록 급격히 적어지며, 입구공기의 습도가 높을수록 커지며, 운전온도에 따른 공기요구량은 음식물 쓰레기 대비 20℃에서 54~111배, 30℃에서 약 36~57 배, 40℃에서 약 23~30배, 50℃에서 14~ 17배임

- 운전 온도가 높을 경우 즉 40~50 °C구간에서는 수분 및 열량제거를 위한 소요공기량은 입구 공기의 습도 영향을 거의 받지 않음



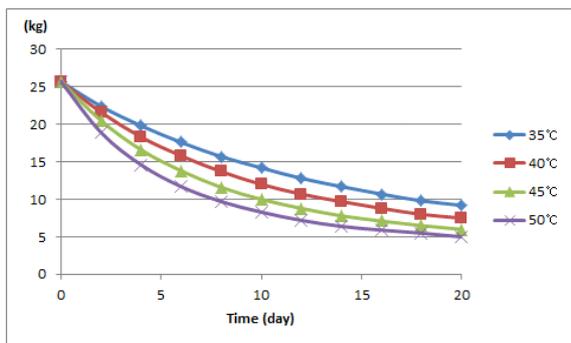
수분제거를 위한 공기 요구량



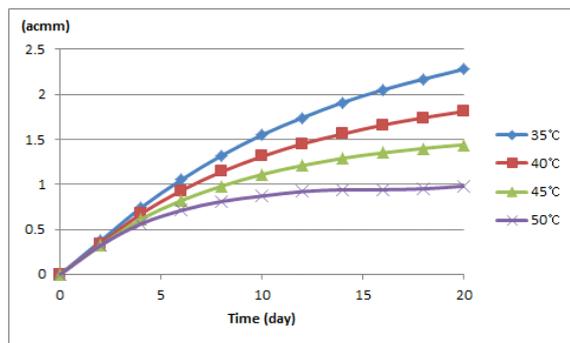
발생열량 제거를 위한 공기공급량

□ 통상적인 상태에서 발효소멸 특성 예측

- 운전온도가 높을수록 분해속도가 빠르기 때문에 체류시간에 따른 감량은 운전온도가 높을수록 높게 나타남
- 이 조건하에서 온도 50°C의 운전은 시뮬레이션 과정에서 냉각 및 수분제거와의 불일치로 쉽게 수렴되지 않음을 알 수 있었으며, 45°C이하에서 발효소멸 장치를 운전함이 바람직함



생분해성 물질의 감량율

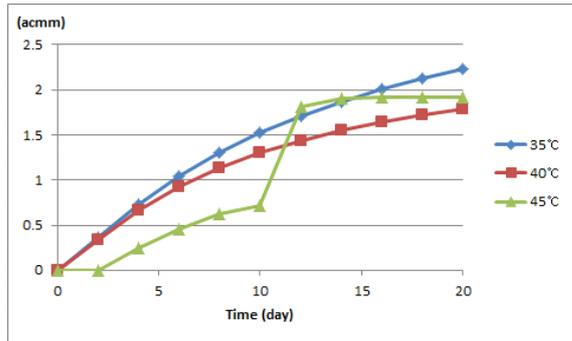
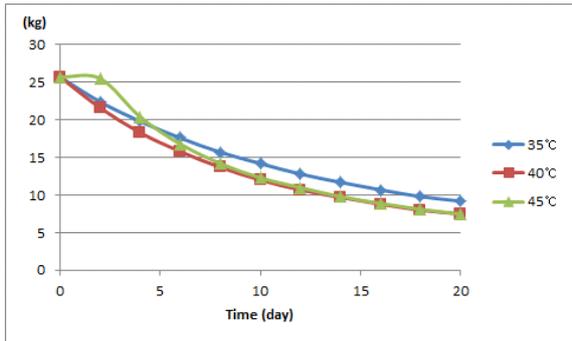


소요 공기공급량

□ 김장철 야채위주 배출조건에서 발효소멸 특성 예측

- 운전온도 35°C, 40°C, 45°C, 50°C에 대하여 시뮬레이션을 수행하였는데, 45°C와 50°C는 수렴되지 않았음
- 이것은 수분을 배출하기 위하여 보다 많은 공기량을 필요로 하지만 발생열량이 적어 냉각을

위한 공기 소요량은 적기 때문에 둘 다 만족시킬 수 있지 못하기 때문임



발열량 3,000 kcal/kg 일때의 생분해성 물질 감량율

발열량 3,000 kcal/kg 일때의 소요 공기공급량

□ 겨울철과 같이 ·외기온도가 낮은 경우 발효소멸 특성 예측

- 외기온도가 0°C, 5°C인 경우 발효소멸 반응이 일어나지 않았으며, 낮은 온도의 적은 공기량으로 수분을 배출할 수 없기 때문임
- 외기온도가 10°C인 경우에는 운전온도 45°C이하에서 발효소멸 반응을 일으킬 수 있으나 그 이상 온도에서는 불가능한 것으로 나타남
- 외기온도가 10°C 이면서 음식물 쓰레기의 발열량이 낮은 경우에 대하여 시뮬레이션 하면 발열량이 3,000 kcal/kg인 경우는 어떤 운전조건에서도 발효소멸 반응이 일어나지 않으며, 발열량이 3,500 kcal/kg인 경우는 운전온도 35°C 조건에서만 가능함

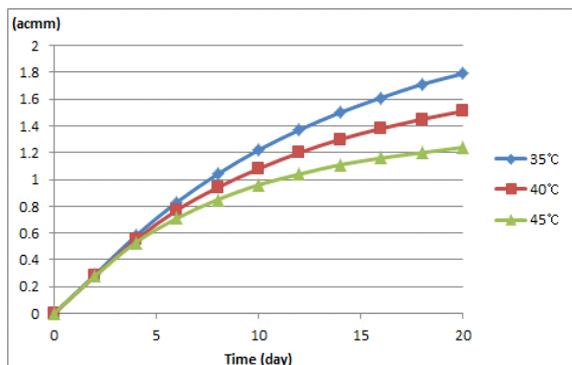
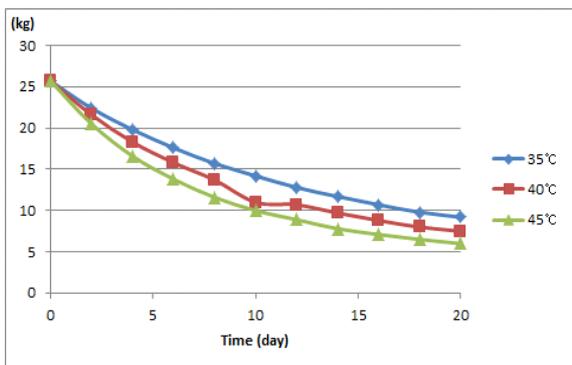


그림 2.27 외기온도 10°C 조건에서의 생분해성 물질 감량율

그림 2.28 외기온도 10°C 조건에서의 소요 공기공급량

연구결론

- 생물학적 분해인 발효과정의 운전은 공기 및 수분공급량으로 제어하지만 음식물 쓰레기가 수분이 많은 관계로 공기공급량만으로 발효소멸 최적조건을 맞출 수 있을 것으로 판단됨
- 산소공급을 위한 공기소요량이 수분 및 발생열 제거를 위한 공기소요량에 비하여 월등히

작으므로 공기공급량은 수분 및 발생열 제거에 초점을 맞추어 정해야 할 것임

- 운전온도는 높을수록 소요공기량이 적어지므로 가능하면 높은 온도에서 운전하는 것이 바람직함. 한편, 유기물의 분해속도도 발효소멸 온도 범위에서 온도가 높을수록 빠름
- 입구 공기의 습도는 그 영향이 미미하므로 습도를 낮추는 조치가 필요 없으며, 비교적 고온영역에서 운전하는 것이 바람직함
- 음식물 쓰레기의 고위발열량이 높고, 외기 온도가 20℃ 이상인 경우는 발효소멸 반응의 35 ~ 55℃의 온도범위에서 발효소멸 장치를 운전할 수 있음
- 김장철과 같이 저발열량의 음식물 쓰레기만 투입될 경우 발열량이 낮아 40℃ 보다 높은 발효소멸온도에서 반응할 수 없으므로 40℃ 이하에서 발효소멸해야 함. 이 경우 높은 온도에서 공기에 의한 배출열량이 커져 자체 발효소멸 온도를 유지할 수 없기 때문임
- 5℃ 이하의 입력공기 온도에서 어떠한 발효소멸 조건에서도 반응이 일어나지 않으며, 10℃ 이상에서 발효소멸이 일어남
- 입력공기 온도가 10 ℃이고, 발열량이 3500 kcal/kg으로 낮은 경우는 발효소멸온도가 35℃인 경우를 제외하고 그 이상의 조건에서 발효소멸 반응이 일어나지 않는 것으로 나타남. 이에 따라 입력공기 온도가 10 ℃ 이하가 되지 않도록 할 필요가 있음