

碩士學位論文

고온·호기 소화법을 이용한  
돈사 폐기물의 처리특성



濟州大學校 大學院  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

環境工學科

宋 希 京

110.523

2000年 12月

고온·호기 소화법을 이용한  
돈사 폐기물의 처리특성

指導教授 李 容 斗

宋 希 京

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함



宋希京의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 허 목 印

委 員 조 은 일 印

委 員 이 용 두 印

濟州大學校 大學院

2000年 12月

# Treatment characteristics of swinery waste by the thermophilic oxic process

Hee-Kyoung Song  
(Supervised by Professor Yong-Doo Lee)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING

2000. 12.

THIS THESIS HAS BEEN EXAMINED AND APPROVED

---

---

---

---

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
GRADUATE SCHOOL  
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

# 목 차

Summary .....	1
I. 서 론 .....	2
II. 이론적 고찰 .....	4
1. 연구동향 .....	4
2. 고온·호기 소화법 .....	8
3. 물질수지의 계산방법 .....	14
III. 재료 및 방법 .....	15
1. 실험재료 .....	15
2. 실험장치 및 분석방법 .....	17
3. 실험조건 .....	19
IV. 결과 및 고찰 .....	21
1. 통기량 변화에 따른 영향 .....	21
2. 폐식용유 혼합량에 따른 영향 .....	27
3. Sponge와 Wooden chip의 처리효율 비교 .....	34
4. 장기운전결과 .....	36
V. 결 론 .....	40
VI. 참고문헌 .....	42

## List of Figures

Fig. 1. Principal of the thermophilic oxic process .....	10
Fig. 2. Classification of bacteria with growth condition by temperature .....	13
Fig. 3. Schematic diagram of the thermophilic oxic process .....	18
Fig. 4. Variation of temperature with reaction time under various aeration rate condition during one cycle .....	23
Fig. 5. Variation of cumulative residual mass under various aeration rate condition during reaction time .....	24
Fig. 6. Weight reduction rate with aeration rate during total reaction time .....	25
Fig. 7. Variation of CO <sub>2</sub> concentration with reaction time under various aeration rate condition during one cycle .....	26
Fig. 8. Variation of temperature with reaction time under various mixing rate of waste food oil condition during one cycle .....	29
Fig. 9. Variation of cumulative residual mass under various mixing of waste food oil during reaction time .....	30
Fig. 10. Weight reduction rate with mixing rate of waste food oil during total reaction time .....	31
Fig. 11. Variation of CO <sub>2</sub> concentration with reaction time under various mixing rate of waste food oil condition during one cycle .....	32
Fig. 12. Carbon balance under various mixing rate of waste food oil condition during one cycle .....	33
Fig. 13. Variation of temperature with reaction time .....	35
Fig. 14. Variation of temperature with reaction time in case of long term experiment .....	37
Fig. 15. Variation of weight with reaction time in case of long term experiment .....	38
Fig. 16. Variation of moisture content with reaction time in case of long term experiment .....	39

## List of Tables

Table 1. Comparison of thermophilic oxic process and composting .....	11
Table 2. The characteristics of swinery waste matter .....	16
Table 3. The characteristics of wasted food oil .....	16
Table 4. Water holding capacity of bulking agents .....	16
Table 5. Experimental conditions .....	20

## Summary

The purpose of this study was to investigate the treatment characteristics of swinery waste in which sponge was used as a bulking agent by the thermophilic oxic process. The process variables considered for this study were aeration rate and waste food oil and mixing rate. Waste food oil was mixed to provide the energy for the evaporation of water components

The results obtained by this study are as follows:

1. When aeration rate was  $20 \ell / m^3 \cdot \text{min}$  decomposition of organic matter was higher than any other aeration rate condition. The temperature increased up to  $58.3^\circ\text{C}$ , weight reduction rate was 74% and the range of  $\text{CO}_2$  concentration were 6~8.4%
2. When mixing rate of waste food oil was 15% decomposition of organic matter was higher than any other mixing rate of waste food oil condition. The temperature increased up to  $70^\circ\text{C}$ , weight reduction rate was 63.2% and  $\text{CO}_2$  decomposition efficiency of organic matter was 69.2%
3. As compare sponge with wooden chip by bulking agent, sponge was more efficient than wooden chip
4. When aeration rate was  $20 \ell / m^3 \cdot \text{min}$  and mixing rate of waste food oil was 15%, the results of experiments for 20days were 15hours for duration time of over  $60^\circ\text{C}$  in one cycle. And variations of cumulative residual mass were almost constant, the range of moisture content were 60~65%
5. This result indicated that sponge can use as a bulking agent by thermophilic oxic process

## I. 서론

환경규제의 강화, 가축사육 규모의 확대 등에 의하여 가축분뇨 처리방법의 고도화 및 규모의 대형화가 필요하게 되었으며, 이에 따라 폐수처리시설의 정비 비용 및 운영자금이 큰 폭으로 증가하고 있다. 이로 인해, 가축분뇨처리에 대하여 보다 저렴한 비용으로 효과가 확실한 기술이나 시설의 개발이 시급하다고 할 수 있다. 그 동안 가축 분뇨 특히 돈사 폐기물은 수분이 많고, BOD나 암모니아의 농도가 높기 때문에, 일반적으로 분과 뇨를 분리해서 분은 퇴비화, 뇨는 활성슬러지법 등을 이용해서 처리하는 것이 기본이지만, 처리효율이 높지 않아서 슬러지 처리문제, 악취문제, 수질오염문제 등을 일으키고 있다.

퇴비화의 경우 폐기물의 처리처분과 자원화라는 측면에서 유효한 수단이지만, 퇴비화를 지속하기 위해서는 다량의 부자재 확보나 퇴비를 환원할 농토의 확보 등 몇 가지 제약이 있다(熊澤, 1995). 그리고, 활성슬러지법은 처리에 비해 다량의 슬러지가 발생하기 때문에 슬러지의 처리처분이 필요하게 되고 이로 인해 설비비용·유지관리비용이 높게 된다. 또 고농도의 유기성폐수처리에 적합한 방법인 상향류 혐기 슬러지법(UASB)이 있지만, 돈사 폐기물 같이 SS가 높은 폐수에 대해서는 적용이 불가능하다.

이런 점들을 고려하여 새롭고 경제적인 처리법으로 고온·호기 소화법이 주목을 받고 있다. 고온·호기 소화법은 톱밥 같은 흡수 담체에 고농도 유기폐수를 흡수시킨 후 60℃ 이상의 고온에서 호기적으로 분해시키는 방법으로써 탄소성 유기물을 이산화탄소와 물로 완전 산화시키고, 유기물 분해과정에서 발생하는 열이 수분을 증발시켜 처리수 발생이 없는 완전분해를 목표로 한다.

이미 Liu(1992)와 Yang(1995)은 이 방법을 이용하여 양조공장폐수, 축산분뇨, 수산 가공 폐기물 등 고농도 유기물의 완전 처리에 대하여 실험한 결과 유효한 방법임을 확인하였다. Liu 등 (1993)은 돈사폐기물을 식용유 첨가와 히터를 이용한 두 가지 방법을 사용하여 고온·호기 소화처리를 하는데 있어서 경제성 평가를 하였으며, Zhu(1995)는 돈사폐기물을 이용한 고온·호기 소화처리 방법에 쌀겨를 첨가하여 85%의 BOD제거율을 달성했다. 그리고, 李 등(1998)은 고온·호기 소화법을 이용해서 함수율 90%의 돈사폐기물을 처리하기 위한 조건을 검토했다.



그러므로, 고온·호기 소화법을 이용하여 양돈폐수를 처리하게 되면, 완전처리를 통해 2차 환경오염을 줄일 수 있다고 판단된다.

고온·호기성 소화 공정에서는 미생물에 의한 유기물의 산화활동으로 열이 발생하게 되고 그 열에 의한 수분 증발을 유도하기 위해서는 유기물에 의한 열량을 요구한다. 그러나 돈사 폐기물의 경우 95%이상이 수분함량이기 때문에 이들 수분을 증발시키기 위한 자체내 열량이 부족하므로 고온·호기 소화법으로 처리를 하기 위해서는 열량을 보완해 줄 유기물의 첨가가 필요하다(Yang, 1995).

고온·호기 소화법에서 이용되는 bulking agent는 흡수성이 좋고, 미생물의 서식처(habitat)로써 적당하고, 저가이면서 생물분해가 잘 되지 않아야 한다. 지금까지는 주로 톱밥, 목탄, 활성탄 등을 사용했는데 좀더 수분보유능력과 통기성 조절이 좋으며, 장기간 운전시에도 처리 효율이 저하되지 않는 새로운 bulking agent가 필요하다고 본다.

따라서 본 연구에서는 돈사 폐기물을 처리함에 있어서 bulking agent로서 수분 보유능력이 뛰어나고 통기성이 좋은 sponge를 사용하여 일반적으로 이용되는 bulking agent인 wooden chip과 비교 분석하고, 이때 주요 영향인자인 통기속도의 영향과 함께 미생물의 에너지원으로 사용한 폐식용유의 혼합량이 고온·호기 소화에 미치는 영향을 검토하였다.

## II. 이론적 고찰

### 1. 연구동향

고온·호기 소화법은 고온균을 이용해서 유기물을 '완전분해' 처리하는 것을 목적으로 한다. 고온·호기 소화 처리는 본래 고농도 유기폐수의 처리법으로 森 등에 의해 연구되었다. 森 등(1993)은 고온·호기법을 이용하여서 식품공장폐수, 양조공장폐수 및 식당의 음식물 찌꺼기를 처리했다.

森 등(1993)은 식품공장폐수를 초기 함수율 60%로하고 BOD부하를 2~5kgBOD/m<sup>3</sup>·d, 통기량을 50~150 l/m<sup>3</sup>·min의 조건으로 실험한 결과 55~65℃까지 온도가 상승하였으며 최저 온도는 30℃ 정도 였다. 그리고 담체와 폐수의 혼합물의 함수율은 64~80%였다. BOD, COD 및 SS의 평균 제거율은 각각 96, 94 및 80%이다. 혼합물의 무게의 변화는 거의 없었으며 잉여슬러지는 거의 생성되지 않았다고 하였다. 투입된 폐수의 총량은 536kg이고, 배출수의 총량은 376kg으로 유기물 분해에 의해 생성된 열에 의해 약 30%의 수분이 증발하였고 투입된 총탄소량의 94.3%가 이산화탄소로 완전 분해되었다고 하였다.

음식물찌꺼기의 경우 반응조내의 온도는 4~5일 정도에서 50℃ 이상까지 상승하고 그 후는 50~70℃라고 하였다. 그리고 온도가 급격히 저하하고 있는 부분은 반응조내의 음식물의 분해가 끝났기 때문이며 음식물을 재투입하면 온도가 다시 증가한다고 하였다. 잉여슬러지는 거의 생성되지 않았으며 탄소수지를 계산한 결과 투입된 유기물의 대부분이 이산화탄소로 완전 분해되었다고 하였다.

양조폐수는 통기량 200~300 l/m<sup>3</sup>·min이고 BOD부하가 3~6kg/m<sup>3</sup>·day일 때 대부분의 유기물질을 CO<sub>2</sub>와 물로 분해시켰으며, 투입된 폐수의 수분을 전부 증발되었다고 하였다. 이때 투입된 폐수의 66%는 생물학적 반응열에 의해 증발하였고 나머지 34%는 가열기에 의해 증발되었다고 하였다.

Liu 등 (1993)은 고온호기처리를 하는데 있어서 처리대상에 부족한 에너지를 식용유 첨가로 보충하는 방법과 히터를 이용한 가온 방법 두 가지로 돈사폐기물의 처리를 하였다. 그 결과 폐식용유를 첨가한 방법이 운전비용면에서 저렴하다

고 하였다. 그리고 Zhu(1995)는 에너지원으로 폐식용유 대신에 쌀겨를 첨가한 실험에서 85%의 BOD제거율을 달성했다.

梁(1995)은 양조폐수를 칼로리와 수분의 비(C/W비)를 변화시키면서 고온·호기법에 의한 처리를 한 결과 최적C/W비는 공기의 공급속도가  $100 \text{ l/m}^3 \cdot \text{min}$ 인 경우, 약 2.18 이고 C/W비가 너무 낮으면 수분이 축적하여 유기물의 분해능력이 저하되고 너무 높으면 건조 현상이 일어난다고 하였다.

李 등(1998)은 고온·호기 소화법을 이용해서 함수율 90%의 돈사폐기물을 효율적으로 처리하기 위한 적절한 환경조건을 검토했다. 함수율 90%의 돈사폐기물만으로는 수분증발에 필요한 열량과 열손실을 고려한 경우 열량부족으로 인해 처리가 불가능하다고 하였다. 그래서 보조열원으로 식용유를 첨가하여서 1cycle에 대한 탄소제거율과 수부제거율을 구한 결과 각각 86% 와 98%가 제거되었다고 하였으며, 20일간 연속처리도 가능하다고 하였다. 또한 미생물의 활성도를 높이는 환경조건에는 평균함수율 55%가 최적이고, 이 조건에서 ATP농도와 고온세균 수가 최고가 되었다고 하였다.

또한 李 등(1998)은 함수율 90%의 양돈폐수의 처리에 대하여 장기운전에 대한 처리특성을 검토했다. 그 결과 운전개시부터 60일 까지는 효율 좋게 처리 가능하지만, 그 이후는 처리성이 저하되고 86일째에는 충전한 50%의 삼나무 칩을 교환하므로 처리 효율이 회복되었다고 하였다. 적절한 처리가 이루어지는 기간에 고온세균수는  $10^{11} \text{ c.f.u./g}$  정도 유지되었으며, 처리성 저하의 원인은 분해 불가능한 물질 등의 축적이 고온세균에 영향을 미치고 삼나무 칩의 효율 저하 때문이라고 판단하였다.

Yang 등(1999)은 하수처리장에서 발생한 잉여 슬러지와 농축 슬러지 그리고 탈수 케이크를 처리함에 있어서 열수지에 의한 유기물 분해성을 검토했다. 반응열의 각 열에 대한 분배특성에 있어서는 수분의 증발열량 비율이 폐식용유의 경우 59%, 잉여 슬러지의 경우 59% 농축 슬러지의 경우 63%, 탈수 케이크의 경우 55%로 수분의 증발열량이 전반응열의 반 이상을 차지한다고 하였다. 또 장치에서 손실되는 열량은 전반응열의 23~30%로 수분증발열량과 손실열량을 합하면 전체 반응열에 대해서 85%이므로 고온·호기 처리 과정에서 반응열을 최고 유효하게 이용하기 위해서는 반응 장치의 열관리와 수분 조절이 중요하다고 하였다. 그리고 열수지의 결과 하수슬러지의 고온·호기 처리법에 관한 열분해율은 잉여 슬러지에서는 1.02이고, 농축 슬러지에서는 1.07이다. 잉여 슬러지와 농축 슬

러지의 유기물분해율은 높고, 최적조작조건에서 반응이 진행되었지만 탈수케이크의 반응열량과 이론발생열량과의 비율은 0.60으로 유기물이 완전하게 분해되지 않았다고 하였다.

국내에서는 조(1995)가 고온·호기 소화법에 의한 양조폐수 처리에 있어서 BOD부하량  $4\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$ , 통기량  $200\text{ l}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$ 의 조건에서 2일에 한번 연속적으로 폐수를 투입하여 처리한 결과 대부분의 유기탄소화합물이  $\text{CO}_2$ 로 무기물화되었다고 하였다. 그리고 처리 과정 동안에 잉여 슬러지의 생성은 거의 관찰되지 않았으며 수분은 유기물의 분해시 생성된 열과 전열기에 의해 가해진 열에 의하여 거의 증발되었다고 하였다. 그리고 주정폐수가 분해되는 동안 반응기 내부 온도가 증가함에 따라 고온성 세균의 밀도증가가 관찰되었다고 하였다.

차 등(1996)은 함수율이 높은 음식물쓰레기를 처리하는데 분쇄왕겨와 낙엽을 bulking제로 사용하여 기계적인 고속퇴비화 설비에 의한 실험을 하였다. bulking agent별 감량율은 분쇄왕겨가 실험군에서 65.5%로 별다른 차이를 보이지 않았으며, 낙엽에서는 실험군이 63.9%, 대조군에서 약 30%의 차이를 나타내면서 감량 효과적인 측면에서는 큰 효과를 얻었다고 하였다. 그리고 고속발효에서 bulking 제의 역할은 탄소원을 제공하는 역할보다 통기성을 원할이 하는 역할에 더 크게 작용하고 발생하는 탄산가스농도는 음식물 쓰레기 내의 탄소원에 의한 것이라 하였다.

양 등(1996)은 고온·호기법에 의한 혐기성 소화 슬러지의 처리 특성에 관한 연구에서 폐식용유와 같은 고농도유기성폐기물의 혼합 없이는 처리가 불가능하다고 하였다. 혐기성 소화 슬러지 처리시에 폐식용유의 첨가율 20%, 통기속도  $300\text{ l}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$ 의 조건에서 용량부하  $50\text{ l}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$ 를 완전히 처리가능 하다고 하였으며, 이때의 최대 온도는  $52^\circ\text{C}$ , 탄소변환 속도는  $280\text{mmole-C}/\text{kg-ds}/\text{h}$  이고 탄소전환율과 수분 증발율은 거의 100%이며, 방선균과 간균이 유분이 함유한 유기물 분해에 주된 미생물 역할을 한다고 하였다.

신 등(1998)은 소규모 퇴비화 장치를 이용한 음식물 찌꺼기의 소멸형 퇴비화 운전 성능을 평가한 결과 분해가 용이한 지질, 당 헤미셀룰로스 등의 유기물은 투입 후 하루만에 분해될 수 있으며 이러한 사실은 유기물 함량 및 성분, 이산화탄소 발생 속도, 온도, 중량을 기준으로 하여 총 투입된 원료의 50%가 퇴비화 반응에 의해 분해되었다고 하였다. 그리고 최종 산물은 미생물이 분해하기 쉬운 유

기물의 함량이 적은 안정화된 상태이고 분해되지 않거나 분해 속도가 느린 잔류물의 축적은 중량의 증가를 수반하지만 장치 용량은 초과하지 않았다고 하였다. 그리고 수분함량은 장치의 운전에 중요한 인자로서 최소 46%이상으로는 유지해야 한다고 하였다. 또한 소멸형 퇴비화 방식은 회분식 퇴비화에 비하여 톱밥의 소요량과 퇴비의 생산량을 줄일 수 있어 음식물찌꺼기의 수거 운반상 유리한 것은 물론이고 운전자에 대한 편의성 제공이라는 면에서도 장점을 갖는다고 하였다.

배 등(1999)은 고농도의 액상폐기물로서 취급되는 분뇨를 고온호기성 소화에 의하여 회분식과 연속식으로 운전하여 기존의 처리공정과 효율을 비교 분석하여 응용 가능성을 검토하였다. 회분식에는 체류시간을 7~8일로 하여 유기물 부하  $2.85\sim 3.25\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$ 에서  $68^\circ\text{C}$ , 연속식에서는 체류시간을 7.5일로 하여 유기물 부하  $3.351\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$ 에서 2단소화조를  $55\sim 60^\circ\text{C}$ 범위내로 지속적으로 유지시키는 것이 가능하다고 하였다. 그리고 고온·호기성 소화는 고온의 상태에서 5~6일 동안 유지됨으로 대장균군의 사멸효과가 있고 기존에 사용되고 있는 액상부식방법의 전체처리시간이 15~20일인 데 반해 고온·호기성 처리장치는 연속운전상태에서 체류시간이 7.5일인 것을 감안할 때에 그 효율성이 높다고 하였다.

이처럼 고온·호기 소화법에 관한 관심이 증가하면서 국내에서도 활발한 연구가 진행 중이지만 아직까지 국내에서는 돈사폐기물을 이용한 처리는 미흡한 실정이며, bulking agent로써 지금까지는 주로 나무칩을 이용하고 있는데, 나무칩의 경우 장기간 운전시 처리효율이 저하된다는 연구보고가 있으므로 새로운 bulking agent의 연구가 필요하다고 본다.

## 2. 고온·호기 소화법

### 1) 고온호기소화법의 원리 및 특징

고온·호기 소화법은 고온 호기법이라는 고온접촉산화처리법으로도 불려지고 있으며 고농도유기성폐수 및 폐기물을 처리하는 방법으로 개발되어서 처리 시스템이 간단하고 쉽다는 이점에 관심이 집중되어 있다. 森(1993)은 본법을 이용해서 슬러지도 물도 나오지 않는 즉 유기물의 완전산화와 증발의 연구를 실시 했으며, 고온·호기 소화법을 도시나 농촌에서 발생하는 고농도 유기 폐기물 처리의 한 방법으로써 제안했다.

본법의 원리는 흡수성이 좋은 담체로서 목재칩 등을 충전한 반응조내 담체가 보유할 수 있는 적정량의 고농도유기성폐수나 폐기물을 1사이클 간격으로 연속으로 투입한 후 교반을 행한다. 즉, 24시간 연속적으로 공기를 반응조에 공급하는 것에 의해 담체에 충전된 호기성미생물의 활동에 의해서 투입된 유기물을 이산화탄소로 효율 좋게 분해하는 처리방법이다. Fig. 1에 본법의 원리를 나타내었다(李, 1999).

본법의 원리는 퇴비화법과 동일하고 그와 비교를 Table 1에 나타내었다(Mori 등, 1993). 대상폐기물의 성질은 퇴비화법의 경우는 고형물이고 고온·호기 소화법의 경우는 액체이다. 고온·호기 소화법에서는 고농도 유기성 폐수나 폐기물을 반응조에 투입시켜 담체에 흡수 시킨 후 호기성미생물의 활동에 의해 유기물을 분해시킨다. 유기물 분해과정에서 다량의 열이 발생하게 되고, 이 열에 의해 반응조의 온도는 60℃이상 상승한다. 그리고 적절한 운전조건이나 보조열원을 첨가하면 투입한 액상의 폐기물에 함유하고 있는 수분이나 유기물분해에 의해 발생하는 수분의 대부분을 수증기로서 배출하는 것이 가능하다. 따라서 유기물분해 열량이 많으면 액상의 폐기물의 처리에 유리하기 때문에 현탁유기물(ss)이 높은 고농도 유기성 폐수나 폐기물의 처리에도 적합하다. 유기물분해열량이 부족한 경우는 보조열원을 필요로 하는데, 보조열원으로서 폐유의 사용이 가능하다(Liu 등, 1994 : 稻森 등, 1995). 폐유는 수질오염의 원인이 되기도 하므로 고온·호기 소화법이 폐유처리 대책으로도 가능하다(李, 1999). 또 고온·호기 소화법에서는 반응조에의 유기물투입속도와 유기물분해속도가 같다고 보고 있으며, 1사이클에

1회의 빈도로 적절한 유기물량의 투입을 연속적으로 행하기 때문에 퇴비화법과 비교했을 때 1일 단위체적당 BOD부하는 고온호기 소화법이 적은 편이다. 이러한 운전방법으로서 투입한 유기물의 대부분이 완전분해가 가능하게 되고, 슬러지 발생량을 최소화 하고, 최종생성물은 이산화탄소 등의 몇 가지 가스뿐이다(梁 등,1995). 퇴비화에서의 최종생성물은 퇴비로써 유기성 폐기물의 자원화 및 유효이용 관점으로부터 보면 유용한 처리 방법이지만, 퇴비를 환원할 토지가 충분히 확보되지 않고 실외에 방치하게되면 새로운 부하원으로 되는 것도 많기 때문에 꼭 퇴비의 생성이 필요하지는 않는다(熊澤, 1995).

이상의 특징을 갖고 있는 고온·호기 소화법은 고농도유기성폐수나 폐기물을 적절히 처리·처분 및 감량화하는 방법의 하나로 집중되고 있다.



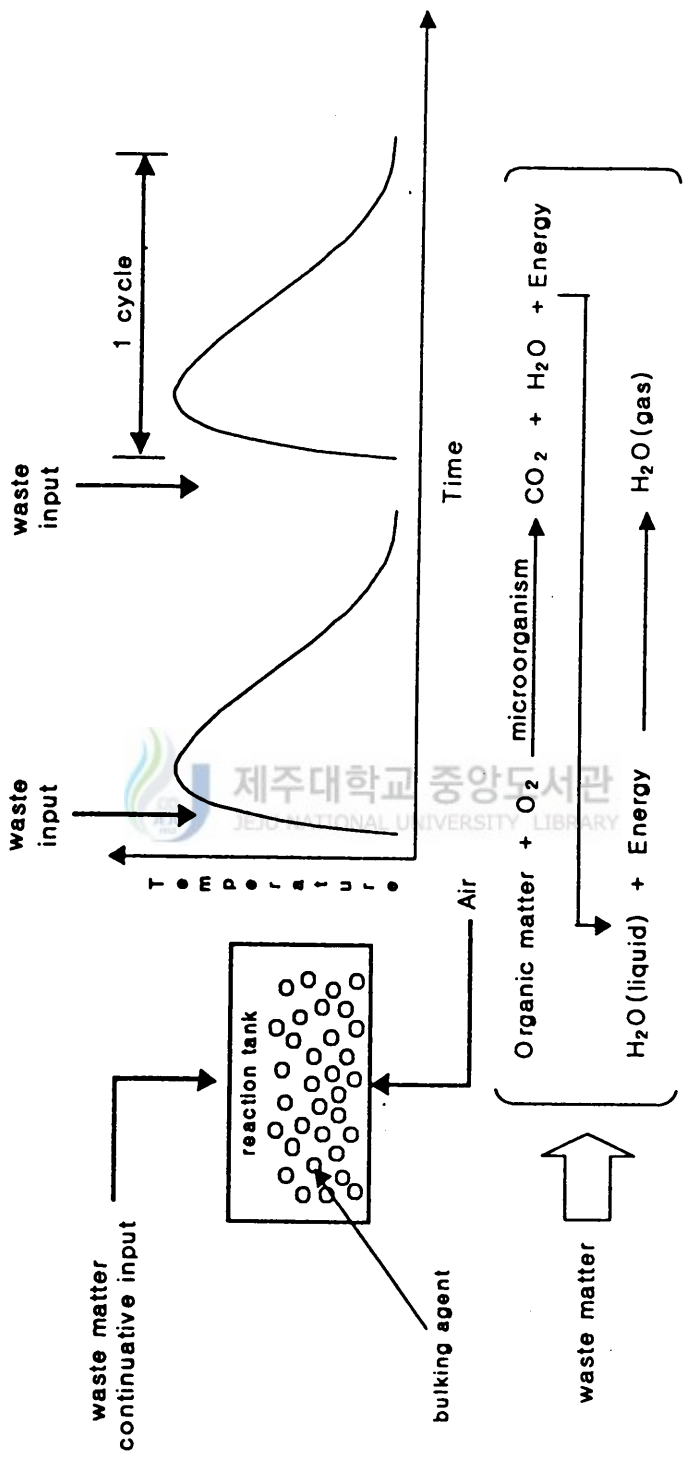


Fig. 1. principal of thermophilic oxic process



Table 1. Comparison of thermophilic oxic process and composting

	Thermophilic oxic process	Composting
a quality of matter	liquid	solid
load BOD (kgBOD/m <sup>3</sup> · day)	3~6	very high
ratio of mixing (weight)	high concentration organic wastewater : bulking agent 1 : 10	organic matter : bulking agmt 10 : 2~3
product	CO <sub>2</sub>	compost
effluence	0~70% of influence	-

## 2) 고온·호기 소화법에 관여하는 미생물

생육온도범위에 의한 세균은 고온세균(55℃ 이상의 온도에서 생육가능한 세균)과 중온세균(30℃부터 55℃의 온도에서 생육가능한 세균) 그리고 저온세균(30℃ 이하의 온도에서 생육가능한 세균)으로 분리되고 있다. Fig 2에 생육온도범위에 의한 세균의 분류를 나타내었다. 고온세균은 중온세균과 비교해서 기질섭취속도가 크기 때문에 유기물분해속도도 빠르다고 알려졌다(李, 1999). 그래서 고온세균의 유용성에 많은 관심이 집중되고 있으며 고온세균의 높은 증식속도를 이용한 고농도 유기폐수나 폐기물을 효율 좋게 처리하는 연구도 알려지고 있다.

폐기물의 자원화로서 이용하고 있는 퇴비화에서는 고온세균인 *Bacillus spp.*의 존재가 확인되었고 처리에 큰 역할을 한다고 알려졌다. 그리고 고온·호기 소화법의 반응조에서도 고온세균의 생육이 확인되었고 유기물 분해에 관여하고 있는 고온세균의 특성이나 처리에 관한 적절한 환경조건 등이 보고되고 있다(稻森 등, 1995 : 李, 1999).

稻森 등(1995)은, 돈사폐기물의 처리기간중 담체를 전자현미경으로 관찰한 결과 많은 호열성 간균이 관찰되었다고 보고했다. 또 폐식용유를 첨가 했을 때와 비교해서 담체 1g당 간균수(N)가 약  $10^3$ 배 증가했다고 보고했다. 栗(1998)은 소주폐수의 처리를 검토한 결과 세균수는 운전시작 때는  $10^7$ CFU/g이었지만, 온도상승에 의해  $10^9$ CFU/g 까지 증가된 후 일정하게 유지되었다고 하였다. 또 quinone profile을 조사한 결과 호열성 *Bacillus*속 세균이 많이 존재하고 있음을 밝혔다. Cho 등(1993)은 고온·호기 소화법의 반응조내에서 21株의 호열성세균을 분리하고, 분리한 세균은 호열성의 *Bacillus spp*라고 하였다. 上利 등(1996)은 반응조내에 생육하고 있는 호열성세균을 11株분리하고 최대비증가속도( $\mu$  max)나 내생호흡계수(Kd)를 조사한 결과 배양온도에 의해 영향을 받으며 60℃에서는 내생호흡계수(Kd)가 꽤 높다고 알려졌다. 즉 본법에서 고온 세균은 자기분해속도가 빠르기 때문에 잉여 슬러지 발생량이 적음이 명확해 졌다.

李 등(1999)은 돈사폐기물을 고온·호기 소화처리 할 때에 고온세균인 간균과 중온세균인 구균이 관찰되었다고 하였다. 그리고 1사이클에서 고온세균과 중온세균의 역할로는 폐기물의 투입 후 저온영역(약 30℃ 전후)에서는 중온세균의 증식에 의해 발열이 일어나고, 고온세균의 증식에 적합한 소화온도까지 상승한 후에는 고온세균이 다량의 유기물의 분해에 기여하게 된다고 하였다.

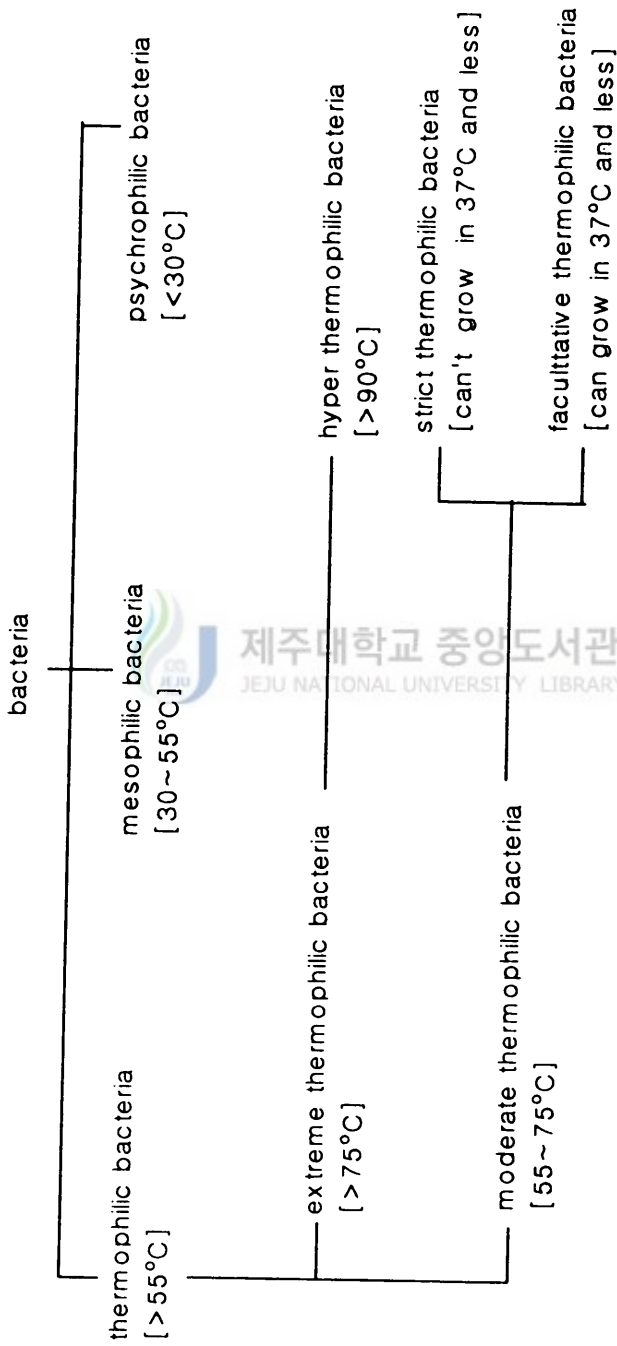


Fig. 2. Classification of bacteria with growth condition by temperature

### 3. 물질수지의 계산방법

물질수지(탄소수지)는 온도, 혼합물의 무게의 변화가 정상상태가 된후, 1cycle의 수지로 구한다(李, 1998).

1cycle에서의 총투입탄소량( $C_t$ )은 반응조내의 축적량( $C_a$ ), 가스전환량( $C_e$ ) 그리고 배출수 중의 탄소량( $C_d$ )으로 되며 다음과 같다.

$$C_t = C_a + C_e + C_d \quad (2-1)$$

이 때, 총투입탄소량( $C_t$ )은 돈사폐기물과 보조열원인 폐식용유의 총유기탄소(TOC)를 측정하고 투입량에 의하여 구했다. 그리고 가스전환량( $C_e$ )는 배기가스 중의  $CO_2$ 가스농도를 측정하고 그것을 통기량에 의하여 구했으며, 배출수 중 탄소량( $C_d$ )은 배출수의 총유기탄소를 측정하고 배출수량을 이용해서 구했다.

$$C_t = \text{돈사폐기물과 폐식용유의 총유기탄소(TOC)} \times \text{투입된 양} \quad (2-2)$$

$$C_e = [\lambda \times V_i \times T] \times \alpha \times \beta \quad (2-3)$$

여기에서  $\lambda$  :  $CO_2$ 가스농도(%)

$V_i$  : 통기량(L/hr)

$T$  : 시간(hr)

$\alpha$  : 단위환산(1.96g/L)

$\beta$  :  $CO_2$ 중 탄소량 환산계수(0.27)

$$C_d = \text{배출수 중의 총유기탄소(TOC)} \times \text{배출수량} \quad (2-4)$$

반응조내 탄소의 축적량( $C_a$ )은 총투입탄소량( $C_t$ )로 부터 가스전환량( $C_e$ ), 배출수 중 탄소량( $C_d$ )를 제외한 값이다.

$$C_a = C_t - C_e - C_d \quad (2-5)$$

### III. 재료 및 방법

#### 1. 실험재료

실험에 사용한 돈사폐기물을 채취한 복제주군 P양돈장은 분뇨혼합식으로 시료는 저류조에서 채취하였으며, 채취한 시료는 4℃에서 보관하였다. Table 2에 실험장치에 투입된 시료의 성상을 나타내었다. 함수율 95%, 유기물 78%이며, BOD가 45,500mg/ℓ로 유기물농도가 높은 것이 특징이었으며, 열량은 건조중량당 kg당 4,920kcal로 나타났다.

한편, 돈사 폐기물만으로는 고온·호기 소화처리를 하는데 있어서 수분증발에 필요한 자체내 열량이 부족하므로 열량을 보충해 주기 위해 폐식용유를 돈사 폐기물과 함께 사용했다(Liu, 1994). 폐식용유의 경우 BOD 2,000,000mg/ℓ, TOC 760,000mg/ℓ로 유기성 성분의 함량이 대단히 높고, 열량은 9,000kcal/kg이다.

고온·호기성 소화처리를 하는데 있어서 bulking agent는 흡수성이 좋고, 미생물의 서식처로서 적합하고, 생물분해가 이루어지지 않는 것이 바람직하다. 그리고 고온·호기 소화법에서는, 고농도의 유기폐수를 적당한 bulking agent에 흡수시켜 함수율을 조절하기 때문에 이용되는 bulking agent는 수분흡수능력이 높은 것이 좋다. 수분보유능력 측정 결과를 Table 4에 나타내었다. 수분보유능력은 칼럼에 bulking agent를 충전하여 물을 주입하고 30분 후에 배출시켰을 때 bulking agent내에 보유된 물의 양으로써 단위 중량당 흡수된 물의 양으로 구했다(李, 1999).

Table 4에서 알 수 있듯이 sponge가 5.49g/g으로 수분보유능력이 가장 높았다. 이것은 sponge가 기존에 주로 사용된 wooden chip이나 목탄 등에 비해 함수율 조절이 용이함을 뜻한다. 따라서, 본 연구에서는 bulking agent로 sponge를 사용했다.

그리고 sponge의 경우 오수처리에 이용되는 발포성 합성수지 여재로써 1차 발포된 sponge를 다시 2차 가공하여 통기성을 개량한 것으로 공기의 흐름이 원활하기 때문에 일반적인 다른 여재에 비해 공기량 주입에 대한 운전비용을 절감할

수 있다고 생각되며, 또 sponge는 생물학적 분해가 일어나지 않으므로 반영구적으로써 지속적인 사용이 가능하다고 생각한다.

Table 2. The characteristics of swinery waste

Items	Concentration(mg/ ℓ )
BOD	45,000 ~ 46,000
COD <sub>Mn</sub>	11,500 ~ 14,600
TOC	18,800 ~ 20,900
VS*	75 ~ 81
T-N	2,900 ~ 3,900
T-P	800 ~ 900
Moisture content**	94.7 ~ 95.2
Calorie***	4863 ~ 5089

\*VS ; %, \*\*Moisture content ; %, \*\*\*Calorie ; kcal · kg<sup>-1</sup> solid<sup>-1</sup>

Table 3. The characteristics of waste food oil

Items	Concentration(mg/ ℓ )
BOD	2,000,000
Calorie*	9,000
TOC	380,000

\*Calorie ; kcal · kg<sup>-1</sup>

Table 4. Water holding capacity of bulking agents

	Sponge	Wooden chip	Activated carbon	Charcoal
Size (mm)	10 ~ 10.5	2 ~ 5	2 ~ 5.6	1.8 ~ 3.2
Water holding capacity (g/g)	5.49	2.53	0.63	1.84

## 2. 실험장치 및 분석방법

### 1) 실험장치

Fig. 3에 실험장치를 나타내었다. 20 l의 폴리에틸렌제 용기를 사용하였고, 단열을 위해 20mm 두께의 발포스티로폼으로 반응조를 감쌌다. 열전대를 반응조의 중심에 부착시켜서 온도를 자동기록 했다. 반응조내의 하부에는 다공성 아크릴판을 설치하여 공기가 분산되도록 하였으며 반응조는 저울위에 설치하여서 혼합물의 중량을 항상 측정하였다. 공기는 air compressor를 이용해서 반응조 하부로부터 보내고, 유량계를 이용하여 통기량을 조절했다. 배출수는 반응조의 하부에 coke를 설치하여 제거하였다.

### 2) 분석방법

시료의 BOD, COD<sub>Mn</sub>, 함수율, T-N, T-P의 분석은 수질오염공정시험방법에 의해 했다. TOC분석은 TOC-5000A로 측정하였으며, 폐식용유의 TOC분석은 폐식용유를 계면활성제에 용해시킨 후에 TOC-5000A로 측정하였다(松重, 1990). CO<sub>2</sub>가스의 분석은 검지관(GAS TECK社, Model No:2H(1~10%))를 사용하여서 6시간마다 측정했다. 함수율은 시료의 투입 전후에 약2g정도의 혼합물을 채취하고, 105℃에서 약 3시간 건조시킨 후 중량을 측정해서 구했다. 그리고, 시료의 단위 건조 중량당 열량은 열량계를 이용해서 측정했다.

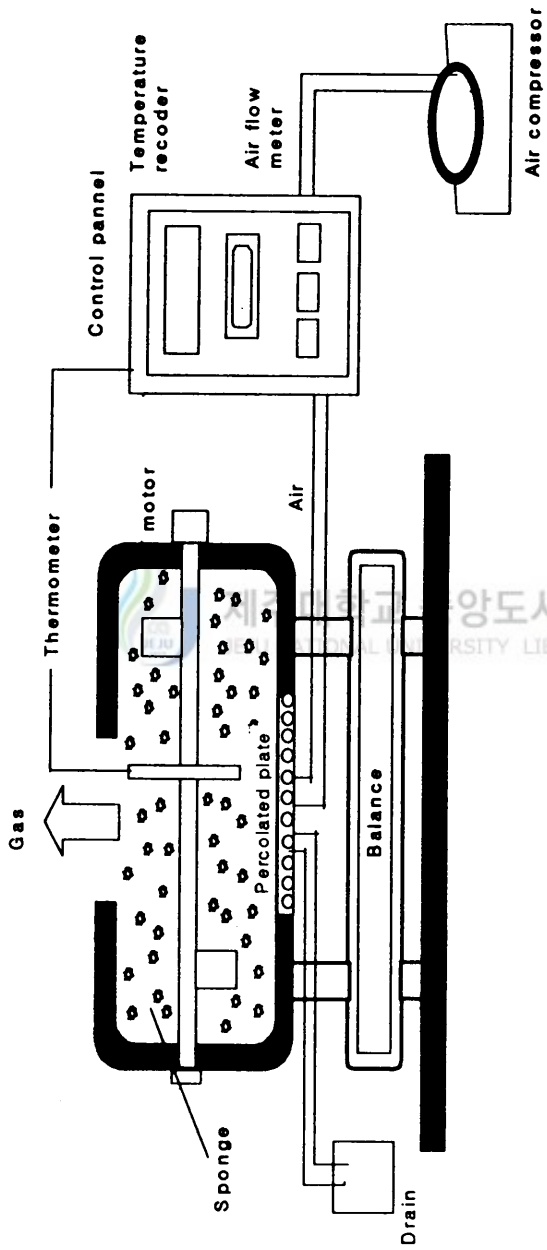


Fig. 3. Schematic diagram of the thermophilic oxic process



## 2. 실험조건

시료는 2일을 1cycle로 하여 2일마다 1kg씩 투입했다. bulking agent는 함수율을 약 60%로 맞추기 위하여 15ℓ(반응조 용적의 약 80%)를 채웠다. 그리고 교반회수는 1일 1회로 약 10분간 교반시켰다.

실험은 세 가지 조건으로 행했다. 첫 번째는 통기량을 0, 15, 20, 30 ℓ/㎡·min로 변화시켰다. 매 cycle마다 투입된 시료의 양은 돈사 폐기물 1kg과 폐식용유 100g으로 BOD 부하가 12.3kg/㎡·day로 동일한 조건하에서 통기량 변화에 따른 영향을 검토했다.

두 번째는 폐식용유 혼합량을 변화시켰다. 첫 번째 조건으로 실험한 결과 통기량을 20 ℓ/㎡·min로 결정하고 매 cycle마다 돈사 폐기물 1kg과 함께 투입되는 폐식용유의 혼합량을 50g, 100g, 150g, 200g로 변화시켜서 폐식용유 혼합량이 처리에 미치는 영향을 검토했다.

마지막으로, 첫 번째와 두 번째 조건에 의한 실험결과로부터 통기속도가 20 ℓ/㎡·min, 폐식용유 혼합량이 150g일 때에 bulking agent로서 sponge와 wooden chip의 효율을 비교했다.

Table 5. Experimental conditions

variations with aeration rate	aeration rate ( $\ell/m^3 \cdot \text{min}$ )	0	15	20	30
	waste food oil (g)	100			
	bulking agent	sponge			
variations with mixing rate of waste food oil	aeration rate ( $\ell/m^3 \cdot \text{min}$ )	20			
	waste food oil (g)	50 (RUN 1)	100 (RUN 2)	150 (RUN 3)	200 (RUN 4)
	bulking agent	sponge			
	aeration rate ( $\ell/m^3 \cdot \text{min}$ )	20			
variations with bulking agent	waste food oil (g)	150			
	bulking agent	sponge (RUN A)		wood chip (RUN B)	

## IV. 결과 및 고찰

### 1. 통기량 변화에 따른 영향

Fig. 4는 반응조내의 시간에 따른 온도변화이다. 온도에 따른 미생물의 분류는 저온성, 중온성, 고온성 미생물로 분류한다. 고온·호기성 소화 처리과정의 전과정에서 상기의 미생물이 모두 작용을 하지만, 정상상태 즉 연속처리공정에서 일정한 처리상태가 유지되면 온도가 지속적으로 50~75℃로 유지되어 고온성 미생물이 우점종으로 서식하면서 유기물을 분해시킨다고 하였다(배 등, 1999).

따라서 Fig. 4의 온도 변화를 살펴보면, 통기량 0 l/m<sup>3</sup>·min에서는 25.0~33.0℃의 온도범위로 온도상승은 기대할 수 없었고 15 l/m<sup>3</sup>·min에서는 최저 온도 26.0℃에서 최고 온도 54.6℃까지 상승했다. 그리고 20 l/m<sup>3</sup>·min일 때는 최저 26.5℃에서 최고 58.3℃였고 통기량이 30 l/m<sup>3</sup>·min에서는 25.9~58.0℃범위로써, 통기량 0 l/m<sup>3</sup>·min일 때를 제외한 다른 조건들에서는 모두 50℃이상을 유지했다. 온도 변화를 보면, 통기량이 20 l/m<sup>3</sup>·min인 경우가 최고온도 58.3℃였고, cycle 내내 가장 높은 온도를 나타냈다.

Fig. 5는 cycle마다 시료 1kg과 폐식용유 100g를 투입했을 때 시간에 따른 반응조내에 누적 잔류량의 변화이다. 반응조내의 잔류하는 양의 증가는 수분축적과 미반응으로 인한 유기물의 증가 때문이다. 혼합물이 계속 투입되면서 시간이 증가함에 따라 반응조 안에 잔류하는 양도 증가하게 된다. 하지만 통기량의 정도에 따라 잔류 양의 정도도 차이가 있다.

Fig. 5의 각 회귀직선식은 다음과 같다.

$$Y=0.0186X + 0.0967(R^2=0.9913):\text{통기량 } 0 \text{ l/m}^3 \cdot \text{min인 경우}$$

$$Y=0.0047X + 0.4380(R^2=0.9991):\text{통기량 } 15 \text{ l/m}^3 \cdot \text{min인 경우}$$

$$Y=0.0034X + 0.3667(R^2=0.9997):\text{통기량 } 20 \text{ l/m}^3 \cdot \text{min인 경우}$$

$$Y=0.0040X + 0.4160(R^2=1.0000):\text{통기량 } 30 \text{ l/m}^3 \cdot \text{min인 경우}$$

여기서 Y는 반응조내 시료와 폐식용유의 누적 잔류량(g) 이고 X는 소화 기간(hr)이다.

회귀직선의 기울기가 작다는 것은 잔류량도 적다는 것을 의미한다. Fig. 5을 보면 통기량이 클수록 회귀직선의 기울기도 작음을 알 수 있다. 그러나 통기량이  $30 \text{ l/m}^3 \cdot \text{min}$ 인 경우는 오히려 통기량이  $20 \text{ l/m}^3 \cdot \text{min}$ 인 경우 보다 기울기가 더 컸다. 이것은 잔류량의 감소가 단순히 통기에 의한 수분 증발에 의한 영향이 아님을 시사한다.

실험기간 동안에 투입된 시료와 폐식용유의 총 양은 3.3kg이었다. 144시간 후 투입된 혼합물의 누적 잔류량은 통기량이  $0 \text{ l/m}^3 \cdot \text{min}$ 일 때 2.83kg, 통기량이  $15 \text{ l/m}^3 \cdot \text{min}$ 일 때 1.09kg, 통기량이  $20 \text{ l/m}^3 \cdot \text{min}$ 일 때 0.86kg 그리고 통기량이  $30 \text{ l/m}^3 \cdot \text{min}$ 일 때는 0.97kg이었다. 따라서 총 처리 시간 후에 투입된 혼합물의 무게 감소율은 통기량이 0, 15, 20,  $30 \text{ l/m}^3 \cdot \text{min}$ 일 때 각각 14.2, 67, 74, 70.6%이었다. Fig. 6에 무게감소율의 그래프를 나타냈다.

반응조내의 혼합물의 누적 잔류 양에 의한 무게 감소율은 투입된 시료 중 유기물질의 분해에 의한 무게 감소분과 고온·호기 소화 과정에서 발생하는 수분의 증발에 의한 무게 감소이기 때문에 유기물질에 제거 효율을 파악하기 위한 간접 지표역할 밖에는 못한다.

따라서 유기물 중 생물학적으로 분해가 가능한 부분이 대부분 유기탄소로 구성되어 있음을 가정해 볼 때 이산화탄소 발생량의 증가는 곧 유기물 분해량의 증가를 의미하므로(Bach, 1987; Hujita, 1984), 유기물 분해 정도를 정확히 파악하기 위하여 이산화탄소의 발생 양을 측정하였으며 Fig. 7에 나타내었다.

이산화탄소 발생 양은 1cycle 대하여 가스 검지관을 이용하여 6시간 간격으로 측정했다. 통기량이  $15 \text{ l/m}^3 \cdot \text{min}$ 일 때 4~7.57%,  $20 \text{ l/m}^3 \cdot \text{min}$ 에서는 6~8.4%,  $30 \text{ l/m}^3 \cdot \text{min}$ 인 경우는 4~7.69%였다. 따라서 통기량이  $20 \text{ l/m}^3 \cdot \text{min}$  일 때가 이산화탄소의 발생 양이 가장 많았으므로 유기물 분해 효율도 가장 좋다고 판단된다.

통기량을 변화시켜서 실험한 결과, 온도변화와 무게감소율 그리고 이산화탄소 발생량을 살펴 본 결과 통기량이  $20 \text{ l/m}^3 \cdot \text{min}$ 일 때가 유기물 제거가 잘 되었음을 알 수 있었다.

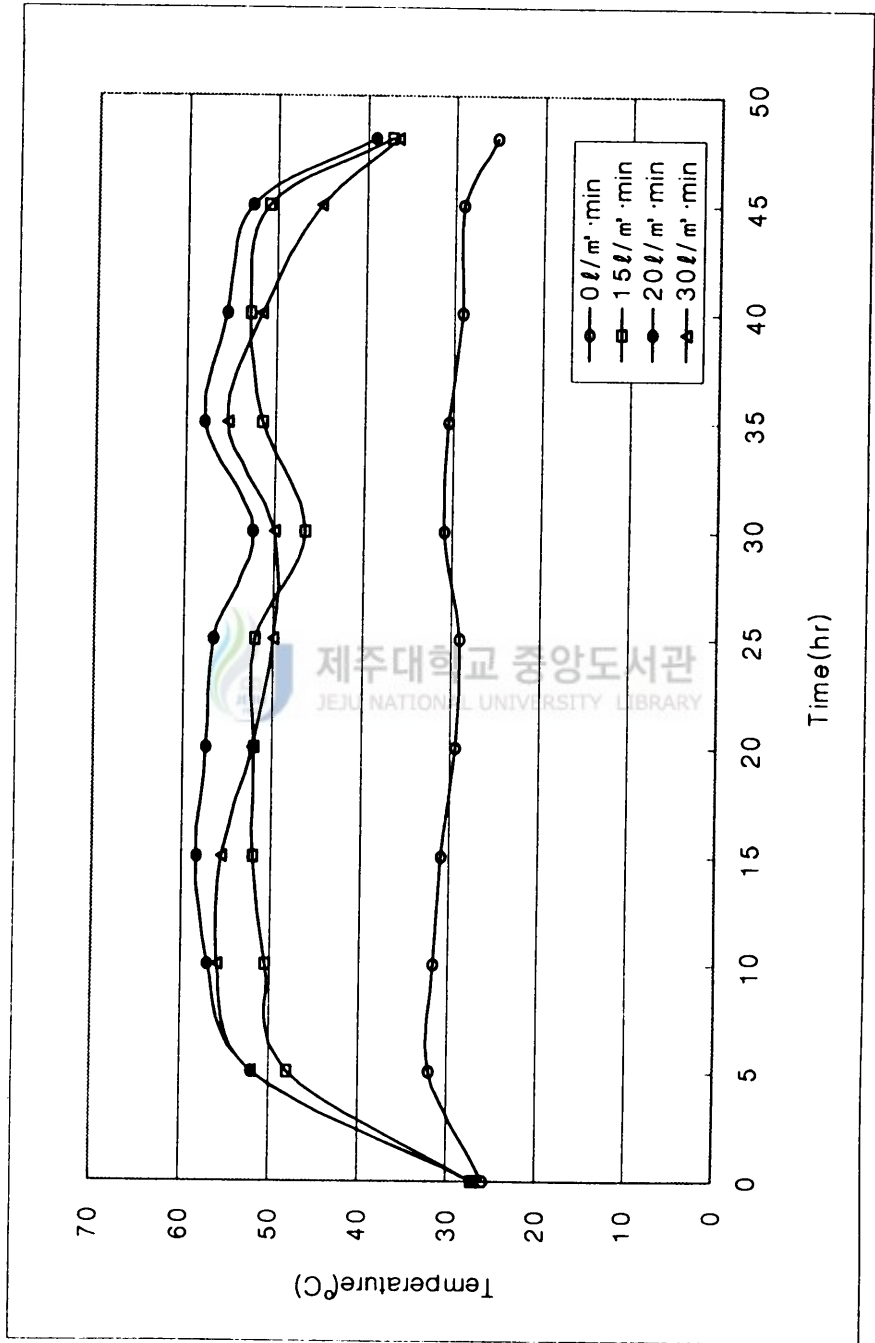


Fig. 4. Variation of temperature with reaction time under various aeration rate condition during one cycle

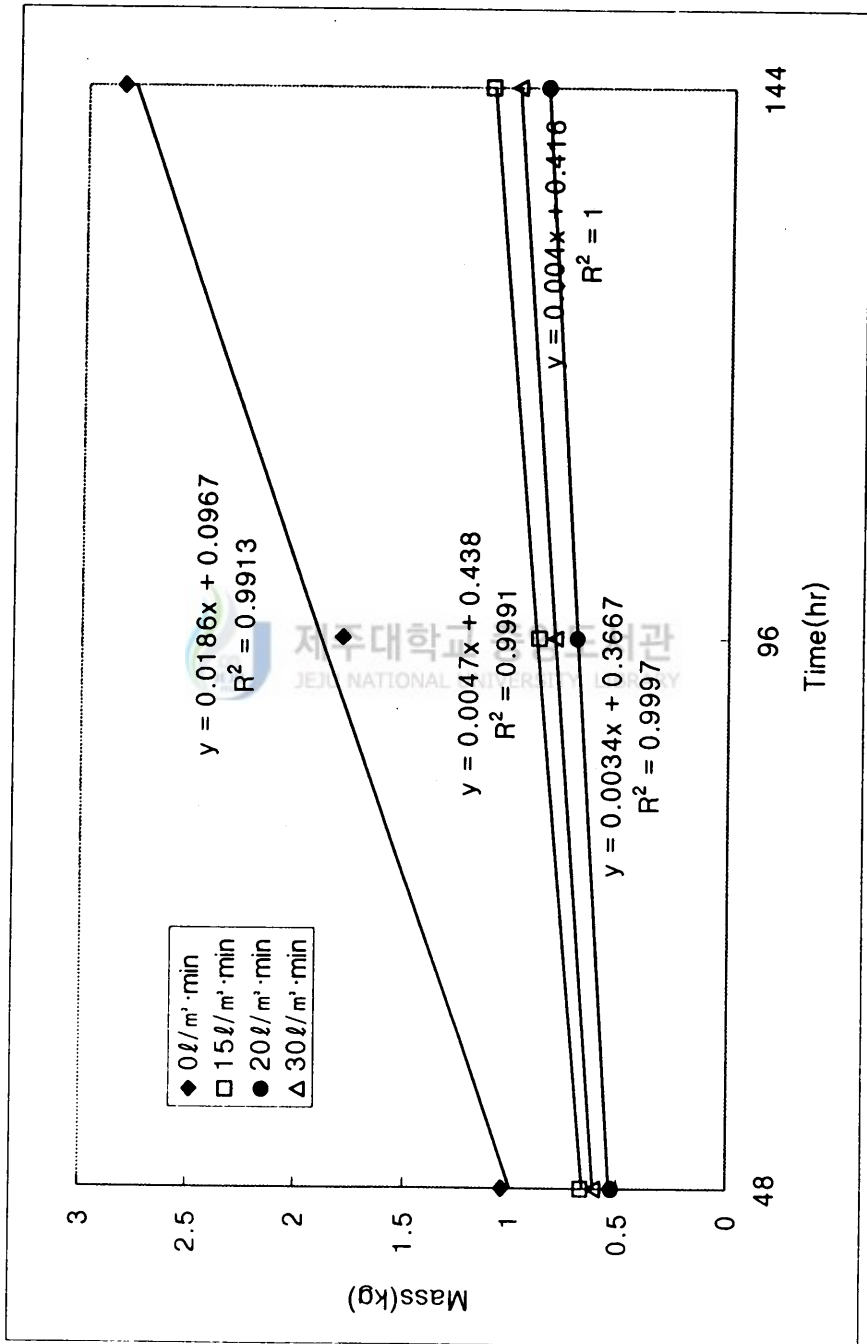


Fig. 5. Variation of cumulative residual mass under various aeration rate condition during reaction time

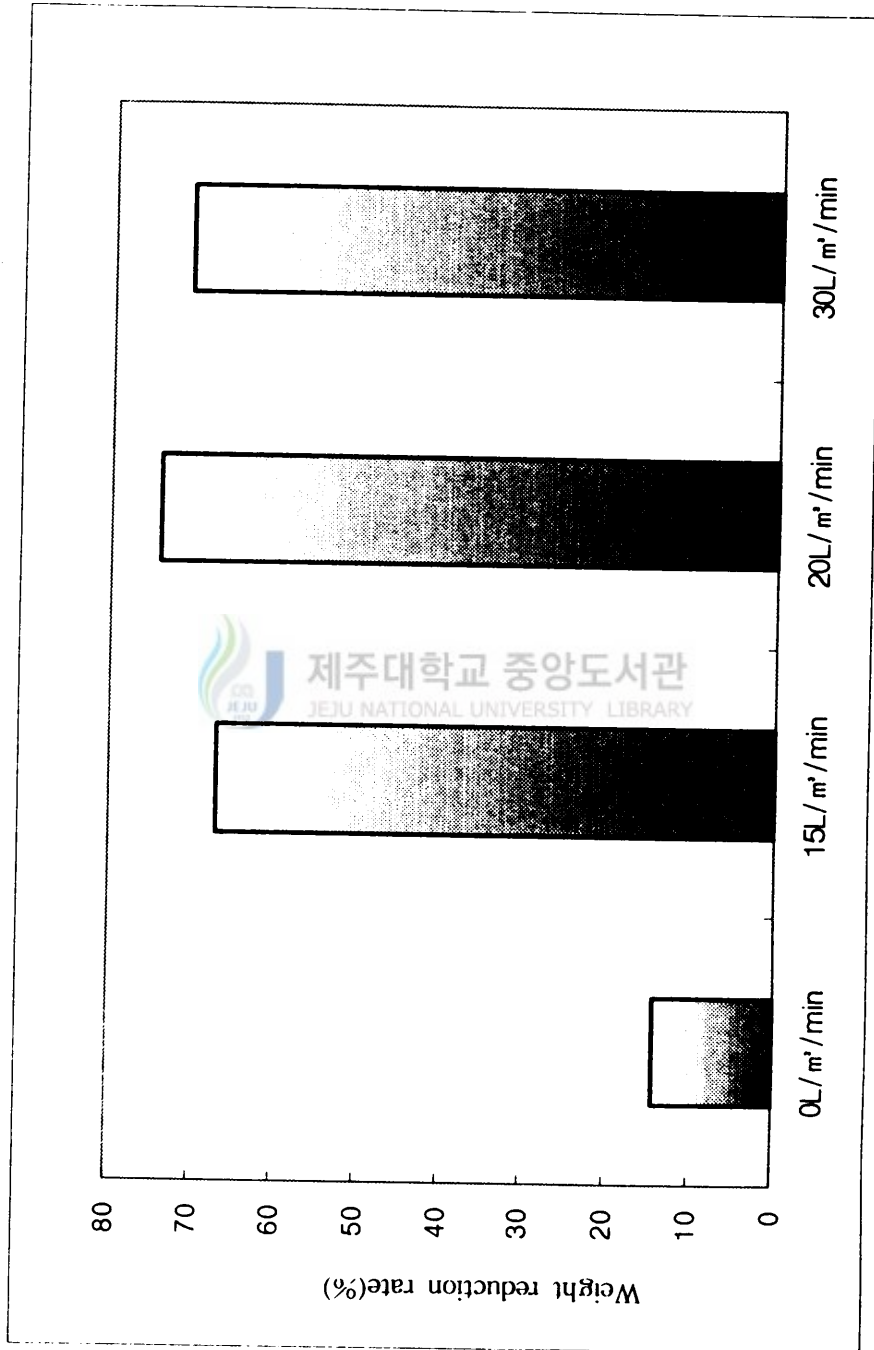


Fig. 6. Weight reduction rate with aeration rate during total reaction time

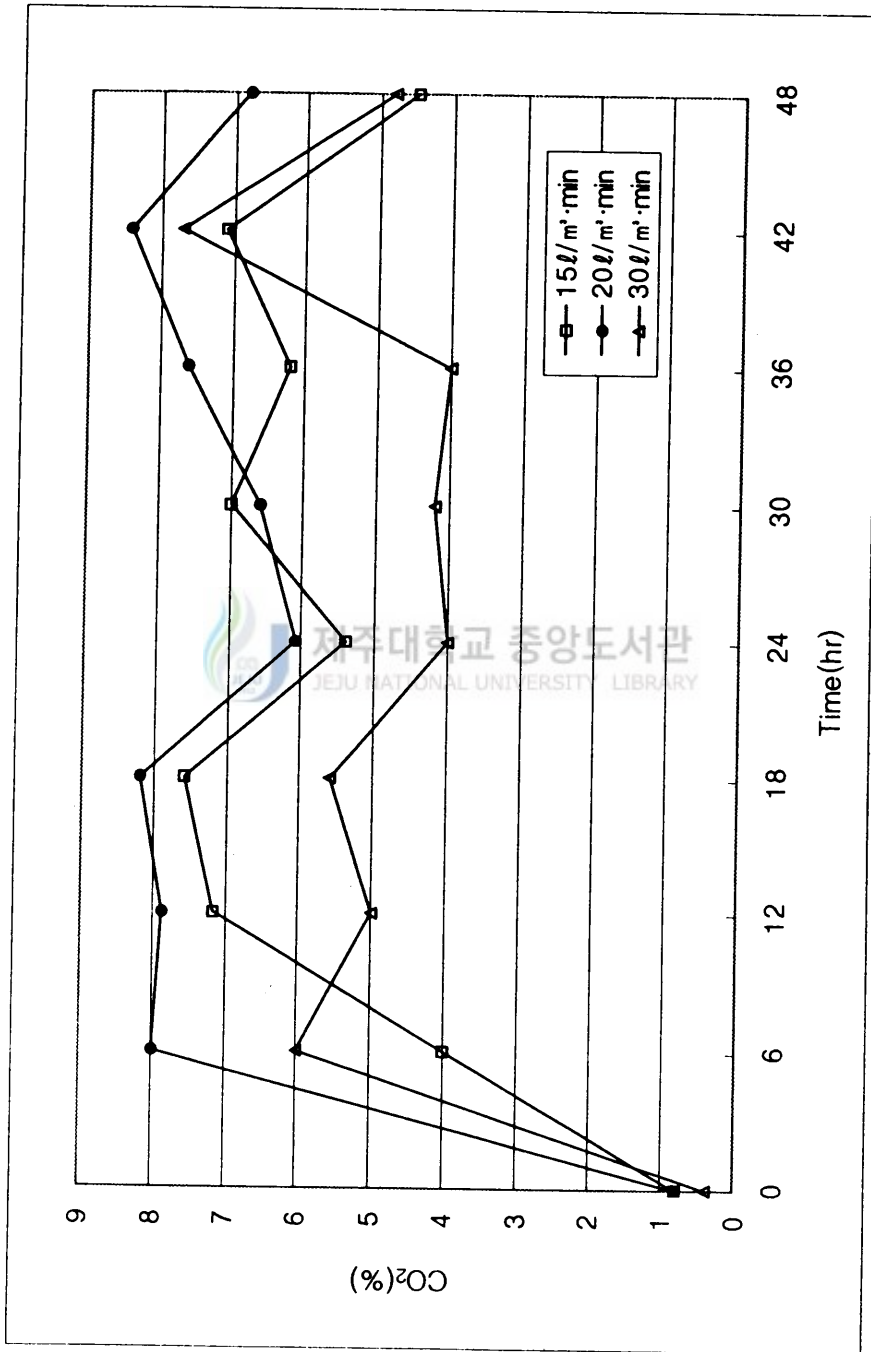


Fig. 7. Variation of CO<sub>2</sub> concentration with reaction time under various aeration rate condition during one cycle



## 2. 폐식용유 혼합량에 따른 영향

통기량 변화에 따른 분해정도를 검토한바, 통기량을  $20 \text{ l/m}^3 \cdot \text{min}$ 으로 설정하였으며 보조열원으로서 폐식용유의 혼합량을 변화시켰을 때의 그 영향에 따른 처리특성을 검토하였다. 폐식용유 혼합량은 각각 50g, 100g, 150g, 200g으로 했으며, 이것을 RUN1, 2, 3, 4으로 나타내었다.

### 1) 온도 변화

Fig. 8은 각 실험조건에서의 1cycle동안에 온도변화이다. RUN1은  $26 \sim 49^\circ\text{C}$ , RUN2  $27 \sim 47^\circ\text{C}$ , RUN3  $23 \sim 70^\circ\text{C}$ , RUN4  $34 \sim 55^\circ\text{C}$ 의 범위로서, 폐식용유 혼합량이 높을수록 온도가 상승하는 경향을 보이고 있다. **李 등(1998)**에 의하면 온도를  $60^\circ\text{C}$  이상 유지하는 것이 중요하다고 했는데, 실험조건에서 보면 RUN3만이  $60^\circ\text{C}$  이상을 약 13시간 유지하고 있다. 폐식용유 혼합량이 가장 많은 RUN4의 경우는 과다한 폐식용유의 혼합으로 기름막이 형성되어 공극이 막혀서 통기가 잘 안되기 때문에 RUN3에 비해 온도가 낮은 것이라 판단된다.

### 2) 중량 변화

Fig. 9는 cycle 마다 1kg의 시료와 각 조건에 따른 폐식용유를 함께 투입했을 때 반응조 안에 누적 잔류 양을 나타내었다. cycle마다 시료와 폐식용유를 투입하기 때문에 시간의 경과와 함께 반응조마다 잔류 양이 계속 증가하였다.

Fig. 9의 각 회귀직선식은 다음과 같다.

$$Y=0.0115X + 0.4333(R^2=0.9726) : \text{RUN1 (폐식용유의 량 50g)}$$

$$Y=0.0070X + 0.5667(R^2=0.9412) : \text{RUN2 (폐식용유의 량 100g)}$$

$$Y=0.0051X + 0.5200(R^2=0.9889) : \text{RUN3 (폐식용유의 량 150g)}$$

$$Y=0.0072X + 0.7033(R^2=0.9581) : \text{RUN4 (폐식용유의 량 200g)}$$

여기서 Y는 시료와 폐식용유의 누적잔류량(g)이고 X는 소화 시간(hr)이다. Fig. 9에서 기율기의 크기가 폐식용유의 혼합량과 비례해서 증가하지는 않았기 때문에 잔류 양의 차이는 유기물 분해 정도와 수분의 증발 정도에 의한 영향이라 생각된다. RUN3 즉 폐식용유 혼합량이 150g일 때가 기율기가 가장 작았으며 폐식

용유 혼합량이 50g으로 가장 적은 RUN1이 기울기가 가장 큰 것으로 보아서 폐식용유 혼합량 150g일 때 투입된 시료의 분해를 가속시키는 효과가 있다고 판단된다.

Fig. 10은 소화 기간 144시간 동안에 폐식용유 혼합량에 따른 무게 감소율이다. RUN1은 35.6%, RUN2 50.9%, RUN3 63.2%, 그리고 RUN4는 50.6%였다. 무게 감소율이 곧 미생물에 의한 유기물의 생물학적 분해라고는 할 수 없지만, 반응 장치에 인위적인 가온을 하지 않았기 때문에 미생물에 의한 유기물 분해가 이루어지지 않으면 수분 증발에 필요한 50℃이상의 온도 유지가 되지 않으므로 무게 감소율에 의한 유기물 제거 효율 평가도 중요하다고 생각한다.

### 3) 이산화탄소 발생량의 변화

Fig. 11은 1cycle동안에 발생한 이산화탄소 농도의 변화이다. RUN1 1.5~5.8%, RUN2 4.0~6.2%, RUN3 7.0~10.2%, 그리고 RUN4는 5.5~7.3% 정도의 범위를 나타내고 있으며, 온도가 높을수록 이산화탄소 농도도 높게 나타났다.

탄소수지를 검토하기 위하여, 반응조에 투입된 시료와 폐식용유의 총유기탄소량(TOC), 배출수 중의 TOC, 그리고 반응조로부터의 이산화탄소의 발생량을 측정했으며, 탄소수지식은 다음과 같다.

$$C_t = C_a + C_e + C_d \quad (4-1)$$

여기서,  $C_t$  : 1cycle 동안 반응조에 투입된 총탄소량

$C_a$  : 1cycle 동안 반응조내에 축적된 탄소량

$C_e$  : 1cycle 동안 이산화탄소로 전환된 탄소량

$C_d$  : 1cyde 동안 발생한 배출수중의 탄소량

탄소수지의 결과를 Fig. 12에 나타내었다. RUN1은 총투입탄소량(39g)의 약 55.8%가 가스화되고, RUN2는 총투입탄소량(58g)의 53.7%, RUN3은 총투입탄소량(77g)의 약69.2%, RUN4는 총투입탄소량(96g)의 36.4%가 이산화탄소로 분해되었다. 실험 결과 폐식용유를 150g 혼합한 RUN3이 유기물의 분해효율이 가장 좋았으며, RUN3의 경우 C/N비가 26으로 초기 탄질비가 적합했다(정,1994)

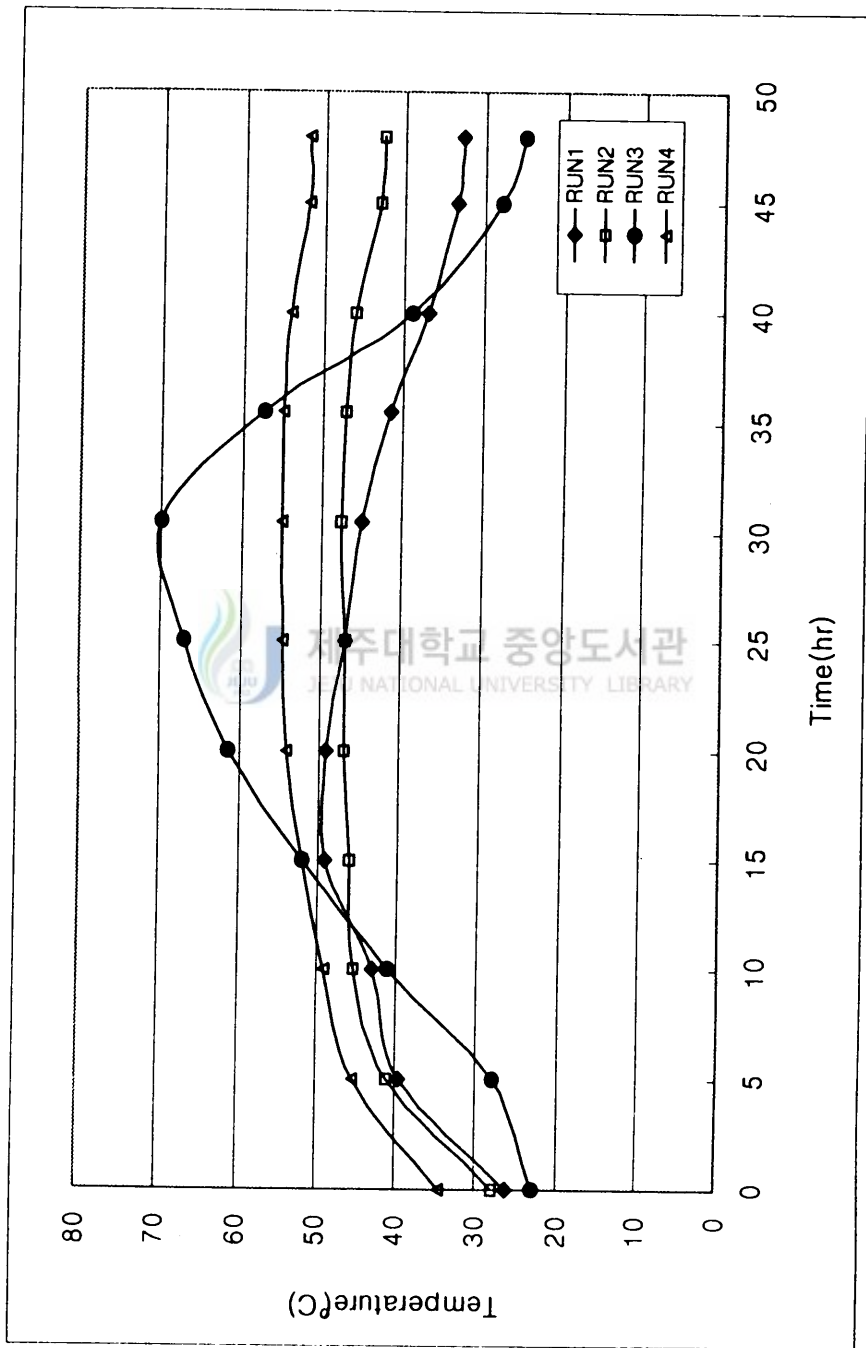


Fig. 8. Variation of temperature with reaction time under various mixing rate of waste food oil during one cycle

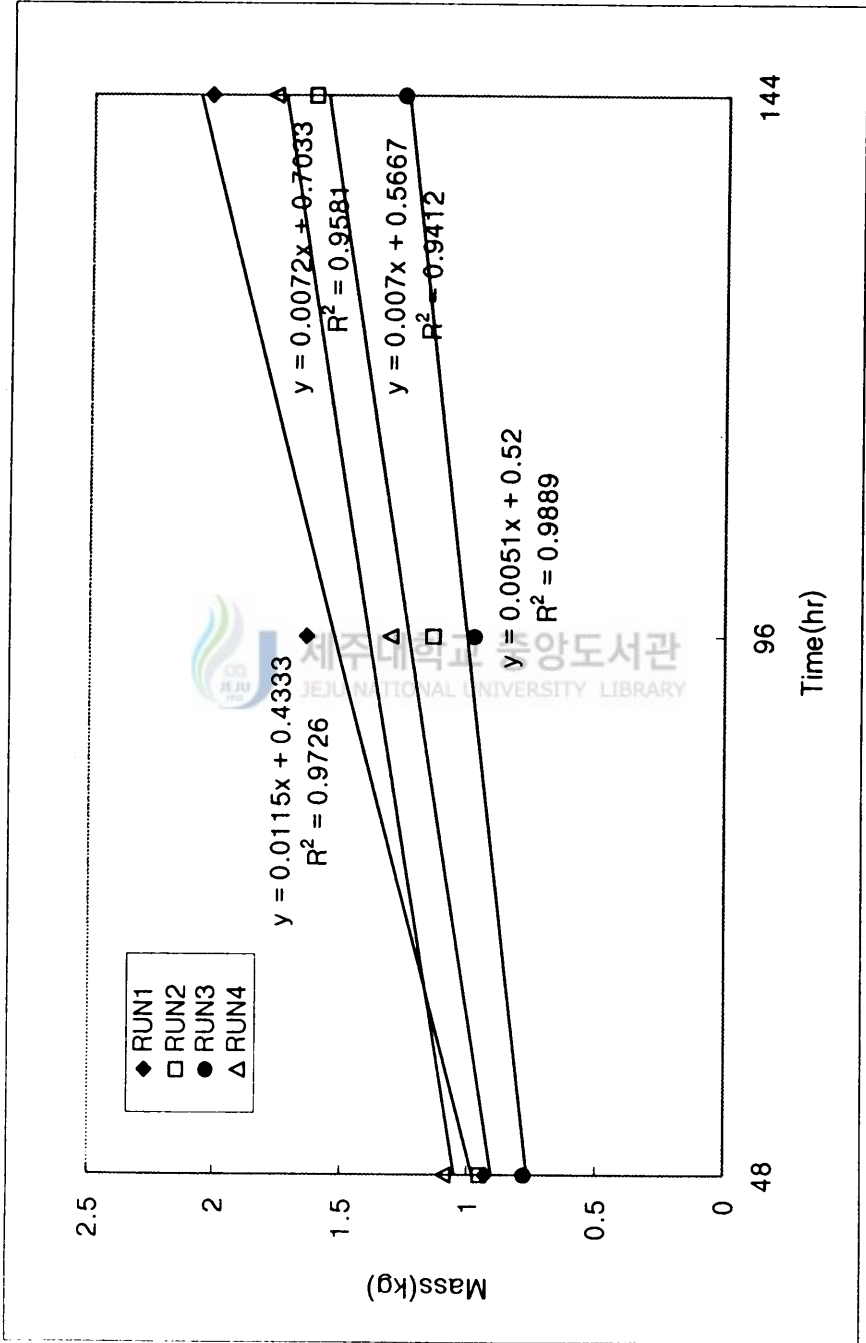


Fig. 9. Variation of cumulative residual mass under various mixing rate of waste food oil during reaction time

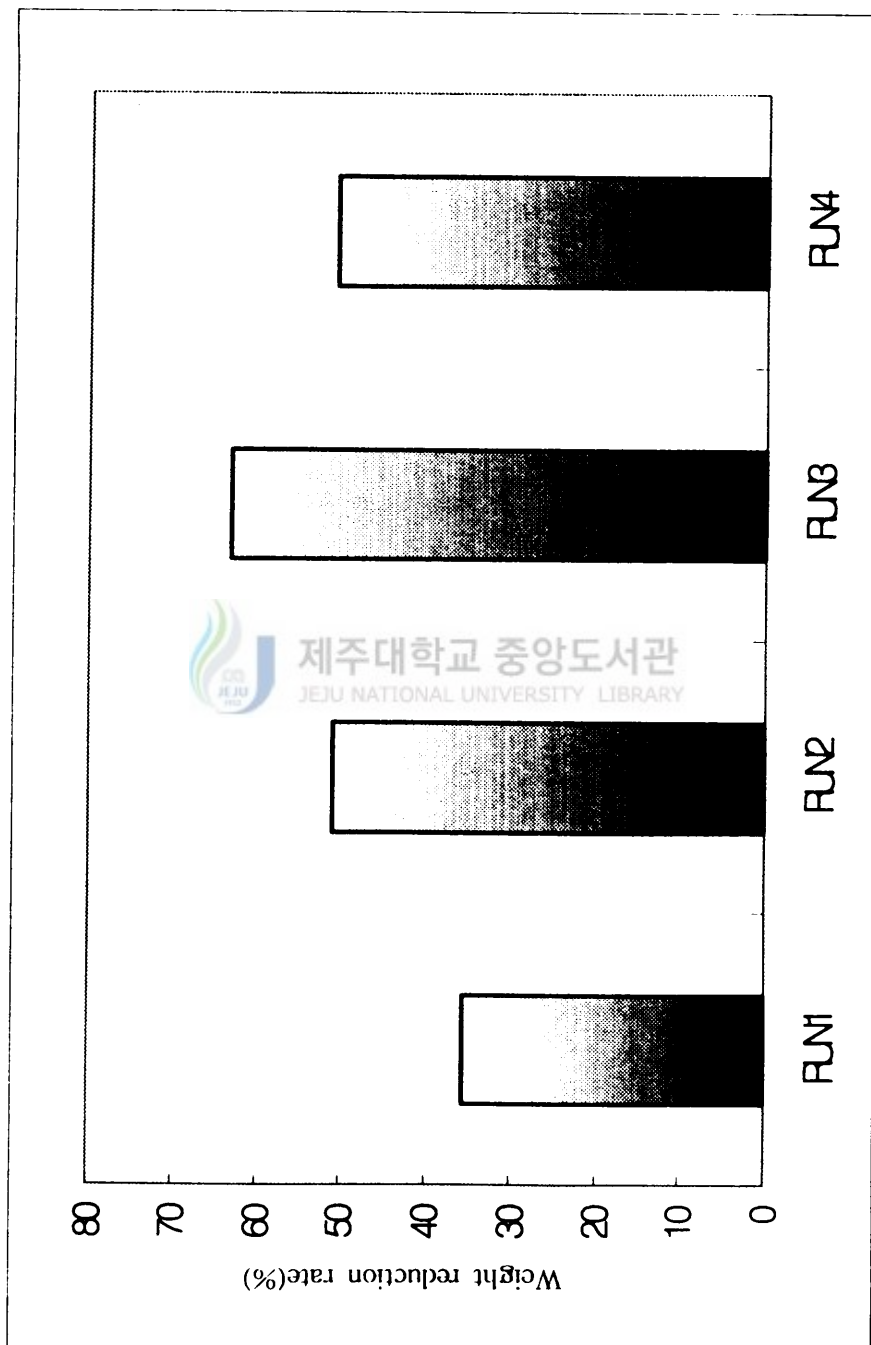


Fig. 10. Weight reduction rate with mixing rate of waste food oil during total reaction time

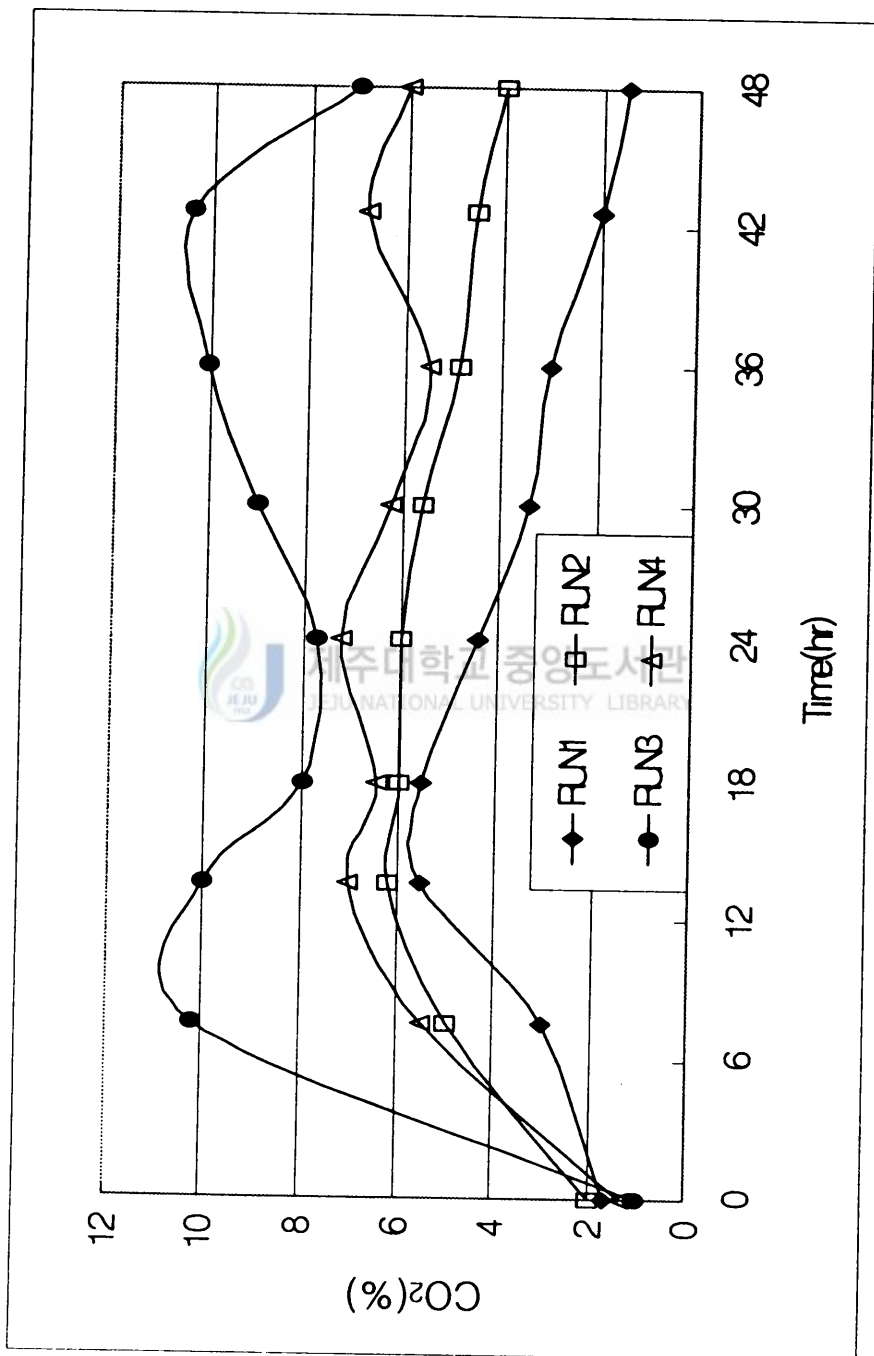


Fig. 11. Variation of CO<sub>2</sub> concentration with reaction time under various mixing rate of waste food oil condition during one cycle

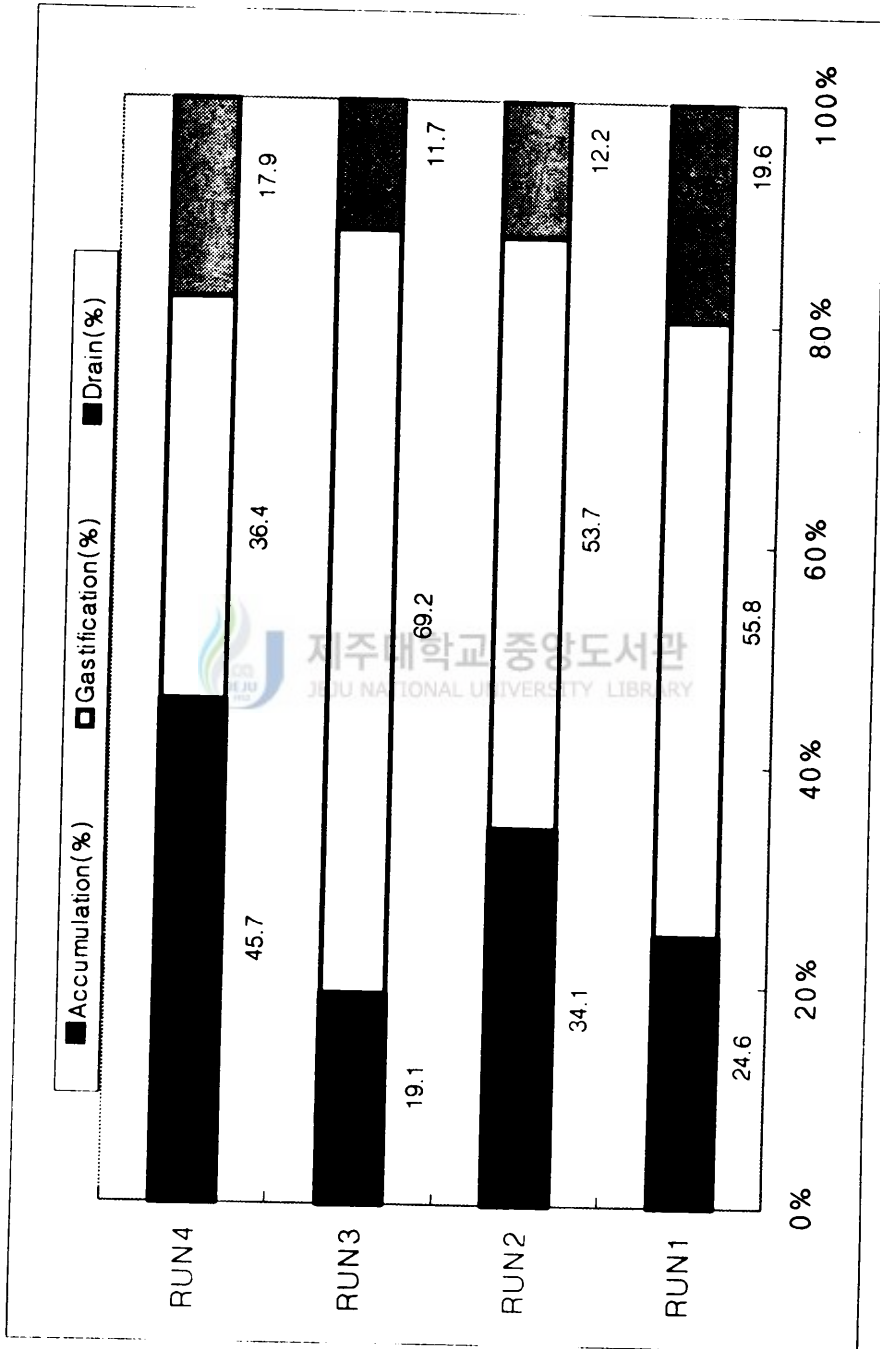


Fig. 12. Carbon balance under various mixing rate of waste food oil condition during one cycle

### 3. Sponge와 Wooden chip의 처리효율 비교

Bulking agent로서 주로 톱밥등 wooden chip을 사용하고 있다. 고온·호기성 소화에서 역할은 수분함량 및 통기성 조절 그리고 탄소원 제공의 역할을 한다. 그러나, 차 등(1996)은 고속발효에서 bulking agent의 역할은 탄소원을 제공하는 역할보다 통기성을 원활히 하는 역할에 더 크게 작용한다고 하였다. 그리고 wooden chip을 사용하는 경우 장기간 운전시 효율 저하로 인해 계속적으로 교환해 줄 필요가 있고, 점차 톱밥 등의 구입도 어려운 실정이다.

반면에 bulking agent로서 실험에 사용된 스펀지는 반영구적이고 통기성을 개량한 것으로 공기량을 원활히 조절하며 wooden chip보다 높은 수분보유능력을 나타내었다.

Fig. 13은 sponge(RUN A)와 wooden chip(RUN B)을 각각 bulking agent로서 사용한 경우의 시간에 따른 온도변화이다. 실험은 통기량을  $20 \ell \cdot m^{-3} \cdot min^{-1}$ , 폐식용유를 150g 혼합하여 했다.

고온·호기성 소화처리에서 유기물 분해를 위한 적정 온도 범위는  $55 \sim 70^{\circ}C$ 이고(박 등, 1999),  $60^{\circ}C$  이상 유지하는 것이 중요하다고 하였다(李 등, 1998). Fig. 13을 보면 RUN A인 경우, 첫 번째 사이클을 제외하고는 모두  $55^{\circ}C$  이상 상승하였으며,  $60^{\circ}C$  이상 유지시간도 5~15시간 정도 유지한 것으로 미루어 RUN A는 유기물 분해가 잘 이루어진 것으로 판단된다. 그리고, RUN A에서 온도가 상승하여서  $30^{\circ}C$  이하로 떨어질 때까지 걸리는 시간은 평균 2일 정도로 반응주기는 2일/cycle였다.

그런데 RUN B는 온도상승 범위가 최저  $19^{\circ}C$ 에서 최고  $46^{\circ}C$ 까지였다. 게다가 처음에 시료투입 하여서 약  $40^{\circ}C$ 까지 온도가 상승하는데 RUN A는 약 25시간 정도인 반면에 RUN B는 약 37시간 정도였다. 그리고, RUN B는 온도가 상승하여 하강하는데 약 2.5일 정도 소요되고 있으며, 반응시간의 대부분이  $45^{\circ}C$  부근에 있으며,  $50^{\circ}C$  이상의 고온은 기대할 수 없었다. 이 실험결과로부터 bulking agent로서 wooden chip을 사용한 경우가 sponge를 사용한 경우보다 반응시간이 매우 느림을 알 수 있었으며, 똑같은 조건하에서 sponge를 사용한 경우는 고온 영역하에서 반응이 진행되었지만, wooden chip인 경우는 반응이 중온 영역에서 진행



되었다. 이것은 wooden chip의 경우 다짐현상으로 인한 통기가 원활히 이루어지지 않았기 때문이라 생각한다. RUN A의 경우는 앞에서 실험한 결과로부터 통기량  $20 \ell/m \cdot \text{min}$ 일 때 최적조건으로 밝혀졌는데 반면에 梁(1995)와 양 등(1996)에 따르면 wooden chip을 이용한 실험에서는 통기량이 주로  $100 \sim 200 \ell/m \cdot \text{min}$ 로 더 많은 통기량을 요구한다. 그러므로, bulking agent로서 sponge를 사용하면 운전비용 면에서 저렴할 것이라 생각된다.

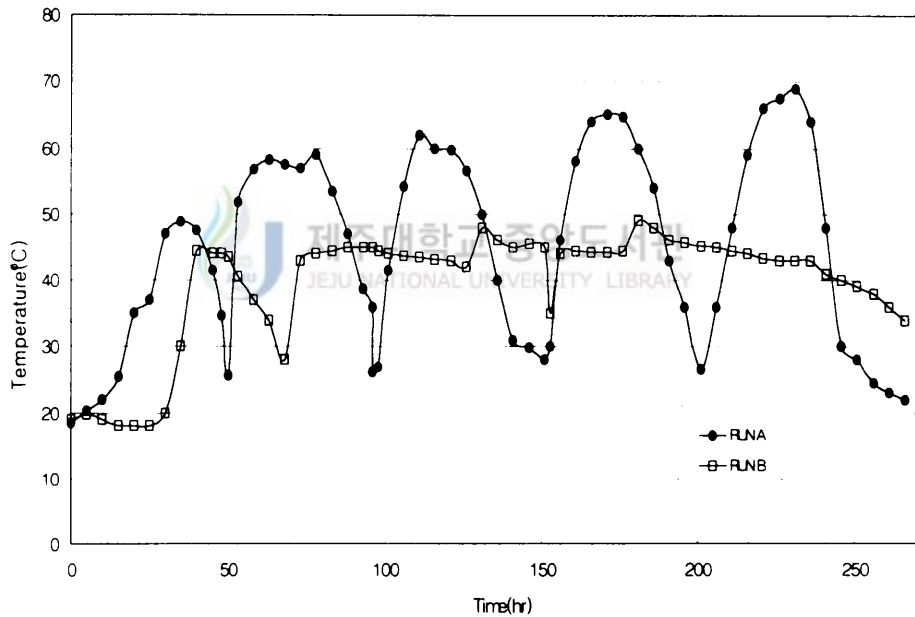


Fig. 13. Variation of temperature with reaction time  
(RUN A: sponge, RUN B: wooden chip)

#### 4. 장기 운전 결과

단기간 운전 결과 가장 제거 효율이 좋은 RUN3을 약 20일간 실험했다. Fig. 14는 반응조내의 온도변화를 나타낸 것이다. 1cycle 때를 제외하고는 모두 50℃ 이상 되고, 60℃ 이상 유지 시간도 평균 약 15시간 이상 유지하고 있었다.

Fig. 15는 반응조내 무게의 변화이다. 실험기간 동안 시료와 폐식용유의 누적투입량과 cycle이 끝날 때마다 반응조내에 축적된 누적 잔류량을 나타낸 것이다. 반응이 시작되는 1cycle 때를 제외하고는 반응조내 누적 잔류량의 그래프가 완만한 것으로 변화 폭이 크지 않음을 알 수 있었다. 이것은 지속적인 시료 투입에도 유기물의 분해가 활발히 진행되었으며 sponge의 bulking agent로서의 처리효율도 저하되지 않았다고 판단된다.

Fig. 14와 Fig. 15에서 보면 반응초기에는 온도가 고온영역까지 상승하지 못했으며 이때에 누적 잔류량도 많은 것으로 보아서 유기물 분해가 잘 이루어지지 않았음을 알 수 있었다. 그러나 2cycle 이후부터는 온도가 50℃ 이상 상승하고 최고 70℃까지 도달하면서 고온영역을 유지한 것으로 판단하건대 고온 미생물에 의하여 유기물이 활발히 분해되었다고 판단된다(劉, 1994 : 李, 1998).

Fig. 16은 시간에 따른 반응조내 함수율의 변화이다. 함수율은 시료투입 후의 cycle이 시작될 때의 bulking agent내의 함수율을 측정하는 것이다. 20일 동안의 실험기간 내내 bulking agent의 함수율은 60~65%범위로서 실험초기 함수율과 비교해 보았을 때 큰 차이를 보이지 않고 있다. 이것은 반응조내에 수분 축적이 이루어지지 않음을 뜻한다. 고온·호기 소화법에서 수분의 축적은 통기성을 불량하게 만들고 미생물에 의한 유기물의 산화 작용에 좋지 않은 영향을 주어 폐수 처리 실패의 원인이 된다(양 등, 1996). 따라서 실험결과 함수율의 변화가 없었기 때문에 고온·호기 소화 반응이 잘 진행되었음을 알 수 있었다.

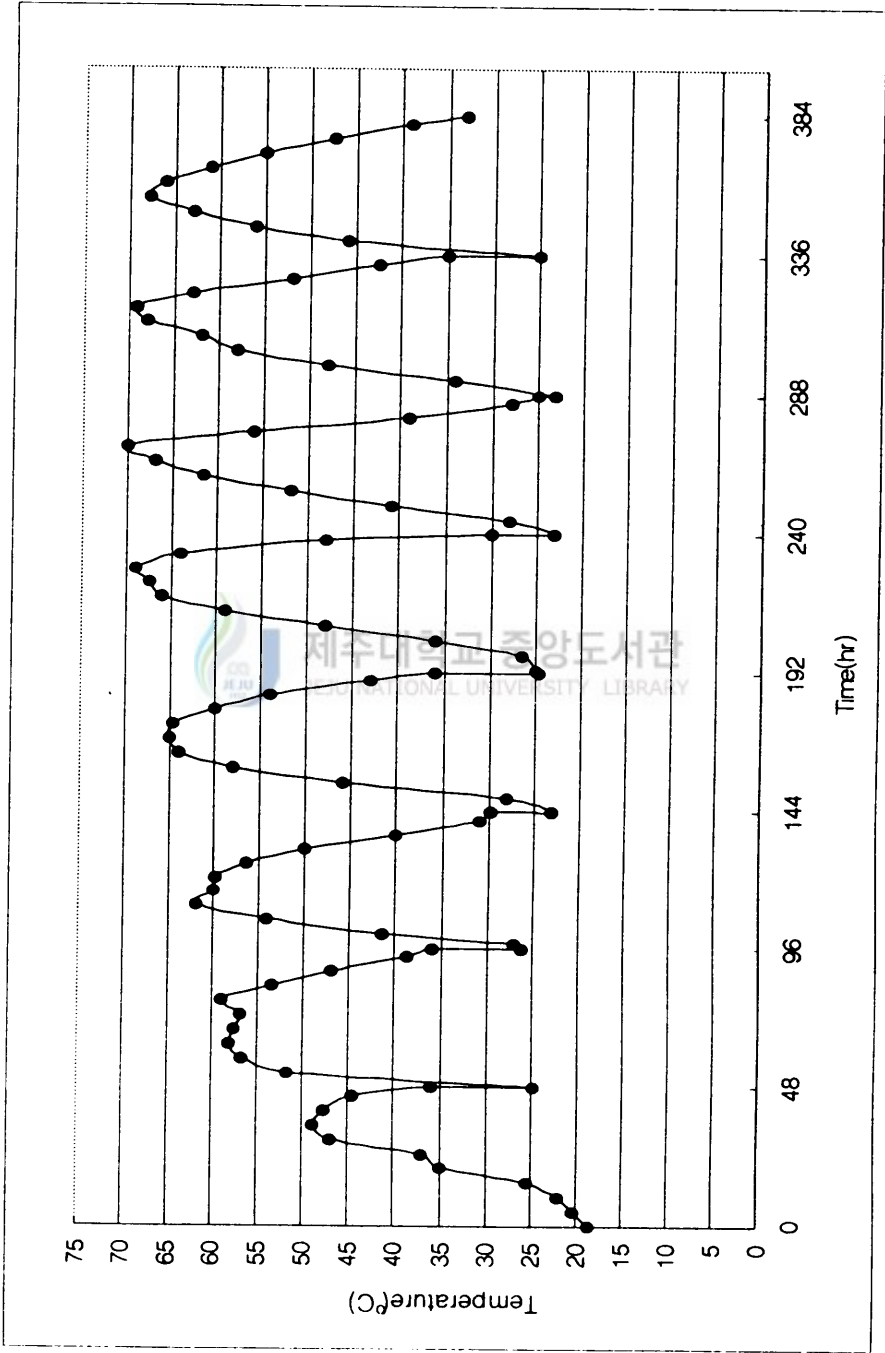


Fig. 14. Variation of temperature with reaction time in case of long term experiment  
 (aeration rate :  $20 \ell/m^3 \cdot \text{min}$ , mixing rate of waste food oil : 150g)

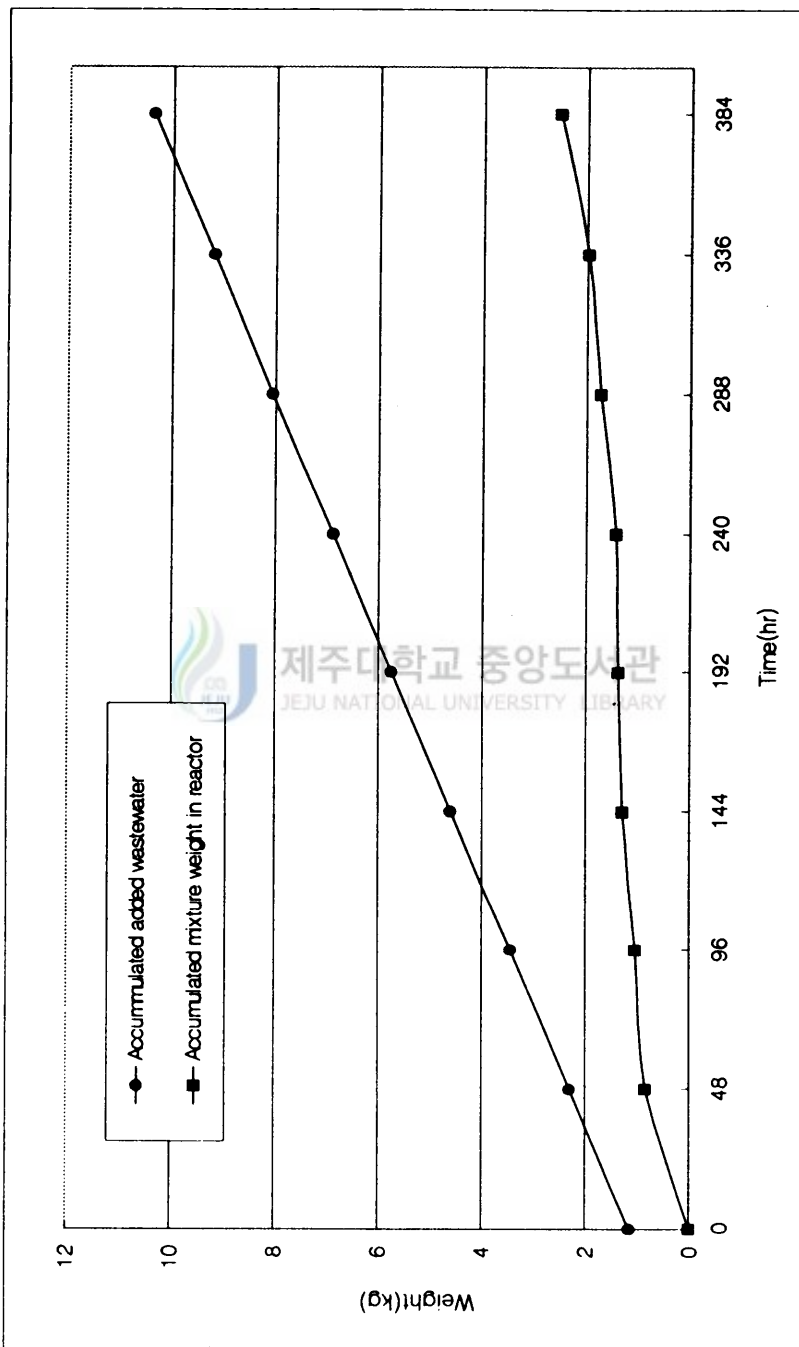


Fig. 15. Variation of weight with reaction time in case of long term experiment  
 (aeration rate :  $20 \ell / m^3 \cdot \text{min}$ , mixing rate of waste food oil : 150g)

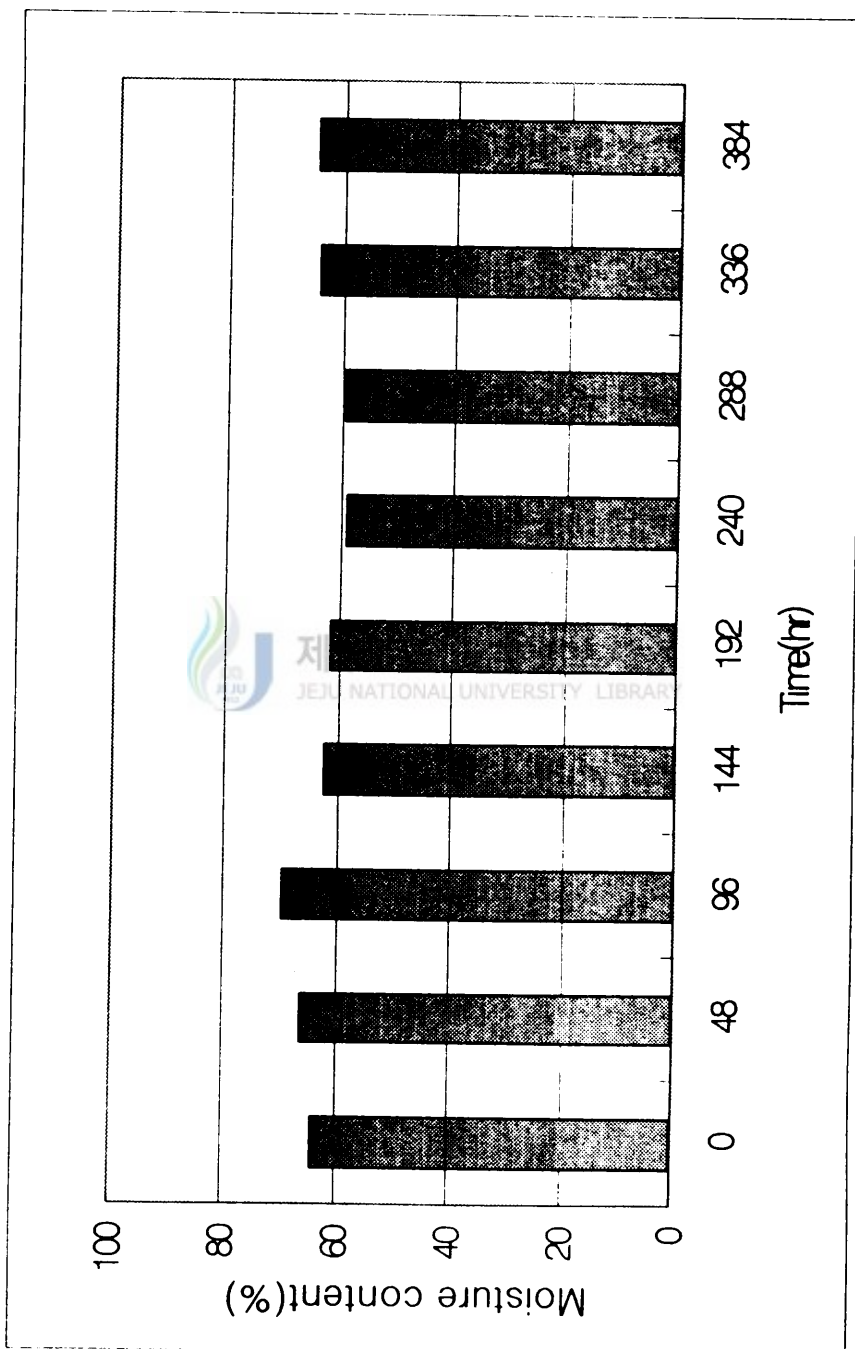


Fig. 16. Variation of moisture content with reaction time in case of long term experiment  
 (aeration rate :  $20 \ell / m^3 \cdot \text{min}$ , mixing rate of waste food oil : 150g)

## V. 결 론

고온·호기 소화법의 특징은 호열성균에 의해 유기물을 이산화탄소와 물로 분해하고, 유기물 분해에 의해 발생한 열에 의하여 수분을 증발시키는 것을 목적으로 한다. 그래서 효과적인 처리를 위해서는 발열량과 열손실량이 균형적으로 이루어져야 하며, 고온상태에서 반응을 진행시키는 것이 중요하다. 발열량은 유기물 부하 및 통기량에 크게 좌우되므로, 통기량과 유기물 부하의 특성을 평가할 필요가 있다.

따라서, 본 연구는 고온·호기 소화법을 이용해서 함수율 95%의 돈사 폐기물을 효율적으로 처리하기 위한 적절한 환경조건을 검토했다. 또 가장 일반적으로 이용되어지는 wooden chip의 단점을 보완하기 위해 흡수성과 통기성이 뛰어난 sponge를 사용하였으며 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 통기량을 0, 15, 20, 30  $\ell/m^3 \cdot min$ 으로 변화시킨 결과 통기량 20  $\ell/m^3 \cdot min$ 인 경우가 온도가 최고 58.3°C까지 상승하고, 무게감소율이 74%이며, 이산화탄소 발생 농도 범위가 6~8.4%로 유기물의 분해가 잘 되었다.
2. 통기량을 20  $\ell/m^3 \cdot min$ 로 하고 폐식용유 혼합량을 50~200g으로 변화시켰을 때 폐식용유 혼합량이 15%일 때가 가장 유기물 제거 효율이 좋았다. 이 때, 최고 70°C까지 상승하였으며 무게감소율이 평균 63.2%이고, 주입된 유기탄소의 이산화탄소 전환율은 69.2%였다.
3. 통기속도 20  $\ell/m^3 \cdot min$ 이고 폐식용유 혼합량이 150g일 때, bulking agent로서 sponge와 wooden chip을 비교 실험한 결과, sponge는 1cycle 동안에 반응시간이 2일이고 60°C이상 온도가 상승하였지만 wooden chip인 경우는 50°C이상의 온도 상승은 기대할 수도 없었으며 중온영역에서만 반응이 일어났으며 이로 인해 반응시간도 상대적으로 매우 길었다.
4. 통기속도가 20  $\ell/m^3 \cdot min$ 이고, 폐식용유 혼합량이 150g인 RUN3을 장기간 실험

험한 결과 반응기간 내내 온도는 평균 약 15시간을 60℃ 이상 유지했으며, 누적 잔류량의 변화도 거의 없었으며 함수율도 60~65%범위를 일정하게 유지하였다.

5. 본 실험에서 사용된 sponge를 bulking agent로 사용될 수 있으리라 사료된다.



## VI. 참고문헌

- B.G. Liu, S. Noda, T. Mori, 1993, Complete treatment of shochu processing wastewater by thermophilic oxic process, Proc. of Environmental Engineering Research, 30, pp.165~174
- B.G. Liu, H. Cai, T. Mori, 1994, Complete decomposition of swine waste by thermophilic oxic process, Jpn. J. Proc. of Environ. Engin. Res, 31, pp.209~214
- Bach. P. D., Nakasaki. K., Shoda. M. and Kubata. H., 1987, Thermal balance in composting operations, J. Ferment. Technol, 65(2), pp.199~209
- 조경숙, 1995, 고농도 유기성 폐수처리를 위한 고온·호기법에서의 미생물상의 특성, 대한환경공학회지, 17(12), pp.1199~1209.
- 차병훈, 이시진, 김남천, 1996, 飲食物쓰레기 高速堆肥化 工法에 있어 效果的인 Bulking Agent에 關한 연구 I, 한국폐기물학회, 13(4), pp.514~521
- 정재춘, 1994, 폐기물 처리, 신광문화사, pp.165
- 中崎清彦, 1996, 高温條件での コンポスト化における初期の昇温速度と種菌の添加が有機物の分解におよぼす影響, 日本廢棄物學會誌, 7(5), pp.225~233.
- 채성준, 문정호, 박윤서, 박상규, 오성훈, 1997, 소멸형잔반처리기 수분조정제 개발에 관한 연구, 한국유기성폐자원학회지, 5(1), pp.32~42.
- 稻森悠平, 岩見德雄, 兪順珠, 近山憲幸, 1995, 農山村地域における有機廢棄物の高温好氣發酵法による資源循環高度處理, 用水と廢水, 37(1), pp.50~56.
- K. Nakasaki, T. Akiyama, 1998, Effect of Seeding on Thermophilic Composting of Household Organic Waste, J.Ferment. and Technol., 65(1), pp.37~42.
- 徐開欽, 李瓚雨, 全惠玉, 須藤隆一, 1998, 畜産廢水の處理對策と高度化, 用水と廢水, 40(2), pp.25~33.
- 崎清彦, 種菌가 콘ポスト化速度における影響の評價, 日本廢棄物學會誌, 3(4) pp.78~85.
- 劉宝鋼, 森忠洋, 1994, 高温·好氣法による豚糞尿の完全處理, 環境工學研究論文集



- 31, 209-214
- Lieping Zhu, Tadahiro Mori, 1995, Innovative and Alternative Technology for Small Treatment System-Direct Filtration of Influent and Decomposition of Organic matter by Thermophilic Oxidic Process, 第29回日本水環境學會年會講演集, 77
- 李瓚雨, 多田千佳, 西村修, 1998, 高温好氣醱酵法による豚舎廢棄物の處理特性, 水環境學會誌, 21(12), pp.862~868.
- 李瓚雨, 多田千佳, 西村修, 1998, 高温好氣醱酵法による豚舎廢棄物の長期運轉時の處理特性, 環境工學研究論文集, 35, pp.21~27.
- 이용두, 송희경, 2000, 고온·호기 소화법을 이용한 양돈 폐수의 처리특성, 한국환경과학회, 2000년도 가을 학술발표회 초록집, pp.176~177
- Nakasaki, K. and Akiyama, K., 1998, Effect of Seeding on Thermophilic composting of Household organic waste, J. Ferment. Technol, 66, pp.37~42.
- 배재근, 심혁성, 1999, 고온성세균을 이용한 고온호기성 소화에 의한 분뇨처리, 한국폐기물학회지, 16(5), pp.526~535.
- 박현건, 稻森悠平, 1999, 고온호기발효법에 의한 정화조슬러지의 처리에 있어서 톱밥과 탄화왕겨의 효율에 대한 비교 연구, 한국폐기물학회지, 16(4), pp.341~347
- 신항식, 황응주, 1999, 소규모 소멸식 음식물 쓰레기 퇴비화 장치의 운전 성능 평가, 한국폐기물학회지, 16(1), pp.29~35.
- 서용기, 양재경, 황기, 이성택, 1988, 고온·호기법에 의한 음식물 쓰레기 처리용 최적 균주의 탐색, 대한환경공학회지, 20(8), pp.1061~1072.
- 松重一大, 水落元之, 稻森悠平, 1990, 生活雑排水の汚濁成分および原單位, 用水と廢水, 32(5), pp.386~390
- 森忠洋, 1993, 有機物綠農地利用のための課題, 用水と廢水, 35(10), pp.5~10
- 森忠洋, 劉宝鋼, 趙敬淑, 1993, 高温·好氣法による高濃度有機排水處理-有機物の完全酸化と蒸發, 化學工業, 11, pp.52~58
- 森忠洋, 梁在璟, 清水由紀子, 劉宝鋼, 1994, 汚泥も水も出ない排水處理は可能か?-高温·好氣法の開發, 第28回日本水環境學會年會講演集, pp.552
- 熊澤喜久雄, 1995, 農山村地域における環境保全のあり方, 用水と廢水, 37(1), pp.

7~11

- T. Mori, B. G. Liu and K. S. Cho, 1993, The treatment of highly concentrated organic wastewater by thermophilic oxic process complete oxidation of organic matter and evaporation, Jpn. J. Chem. Indust., 44(11), pp.924~930
- 梁在璟, 清水由紀子, 趙敬淑, 森忠洋, 1995, 高濃度有機廢水の高溫好氣處理におけるカロリー/水(C/W)比の重要性, 水環境學會誌, 18(7), pp.583~588
- 양재경, 박용로, 최경민, 이성택, Tadahiro Mori, 1997, 고온·호기법에 의한 혐기성 소화 슬러지의 처리특성, 한국폐기물학회지, 14(1), pp.54~65.



제주대학교 중앙도서관  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

## 감사의 말씀

본 논문이 완성되기까지 늘 따뜻한 관심과 함께 지속적인 지도를 해주신 이용두 지도교수님께 깊은 감사를 드립니다. 아울러 미흡한 저의 논문을 세심하게 다듬어 주신 허목 교수님과 조은일 교수님께도 진심으로 감사 드리며, 항상 깊은 관심과 조언을 아끼지 않으셨던 오윤근 교수님, 허철구 교수님, 감상규 교수님, 이기호 교수님께도 깊은 감사를 드립니다.

그리고 바쁜 와중에도 저의 논문에 조언을 아끼지 않았던 김창영 교수님과 김현희 선배님을 비롯한 상하수도 공학실험실 여러 선배님들과 후배님들에게도 고마움을 포함합니다.

마지막으로 힘든 여건속에서도 늘 따뜻한 격려와 뒷바라지를 해주신 부모님께 감사드립니다.