

## 취녕쿨 및 톱밥을 이용한 C/N비 조절에 따른 음식물찌꺼기의 발효특성에 관한 연구

박진식 · 안철우\* · 문추연

경운대학교 환경공학과 · 동아대학교 환경공학과\*

### A Study on the Fermentation Characteristics of Garbages by the C/N Ratio Control using Kudzu Creeper and Sawdust

Jin-Sick Park · Chul-Woo Ahn\* · Choo-Yeun Moon

*Dept. of Environmental Engineering, kyungwoon University*

*Dept. of Environmental Engineering, Dong-A University\**

#### Abstract

In this study, to determine the optimum fermentation process for the feed production of food wastes and estimate the practical value of fermented feed using kudzu creeper and sawdust as bulking agent. This study considered initial C/N ratio control as the fermentation process variables. The results are summarized as follows. Minimum water contents of byproducts in the fermentation feed production showed 39%(kudzu), 37%(sawdust) at the C/N ratio 25 and 45%(kudzu, sawdust) at the C/N ratio 35. Temperature variations in the fermentation feed production at the C/N ratio 25 indicated 68°C(kudzu), 70°C(sawdust). Optimum condition of consists of fermentation process of water content, C/N ratio and permeability (porous structure of the mixture). For optimum fermentation of gravitationally dewatered garbage, the proper mixing ratios of kudzu(moisture contents : 17.3%) and sawdust(moisture contents : 13.2%) were 41% and 39%, respectively. Major biological reaction in the aerobic fermentation feed production occurred during 12~24hrs.

Key words : Fermentation, Food wastes, Kudzu creeper, Sawdust, Bulking agent, C/N ratio, Moisture contents

#### I. 서 론

음식물찌꺼기는 음식물 준비 및 식사 후 발생되는 잔여물로서 생활이 윤택해지면서 그 발생량은 증가되고 있다. 이와 같은 음식물찌꺼기는 도시 생활계 폐기물량의 약 30%내외의 비율로 발생하면서 함수율이 75~85%정도로 높아 쉽게 분해될 뿐

만 아니라 분해시에 높은 유기물농도의 침출수 및 악취를 발생하고 있어 매립 및 소각 그리고 재이용 과정에서 기피대상 폐기물의 하나로 지목되고 있다.<sup>1)</sup>

과거 한국과 같은 전통적인 집약적 농업사회에서는 이와 같은 음식물찌꺼기를 위시한 음식물찌꺼기는 가축의 사료로서 이용되었는데 농업사회에

서 도시사회로 사회체제가 전이되면서 가축사육이 직접 인간사회와 격리되어 집단적으로 양축되면서 음식물찌꺼기 처리는 폐기물처리분야의 새로운 과제거리가 되고 있다.<sup>2)</sup>

따라서 현재의 음식물찌꺼기 처리방법은 새로운 전환이 필요한 시점이다. 이에 따라 근래 국내에서는 음식물찌꺼기의 발생을 줄이기 위한 억제책과 감량화, 재이용 방법에 관심이 집중되고 있다. 억제와 감량화 방식으로는 다량 배출시설에서의 음식물찌꺼기의 분리수거 및 독자 처리체계를 독려하고 식생활개선 방법을 권장하면서 재이용방안을 적극 추진하고 있다. 이에 따라 새로운 음식물찌꺼기 재이용 방법으로 지렁이 사육방법<sup>3)</sup>, 사료화 방법<sup>4,5)</sup>, 혼합 퇴비화 방법<sup>6,7)</sup> 등을 추천하고 실행플랜트 시설을 설치하고 있다.

일반적으로 사료화를 위한 건조방식은 장래 에너지비용 상승과 함께 수용하기 어렵고 또 사료화 과정에서 발생하는 악취, 침출수 처리문제도 간단히 처리하기에는 환경오염 농도가 높은 편이다. 퇴비화방식은 Energy 절약방법의 하나로 고려되고 있으나 최종 생산품에 대한 염분농도 때문에 최선의 방법으로 채택하기에는 문제가 크다. 또한 배합사료 주원료의 해외의존도가 약 76%이며 수입곡물의 가공부산물까지 합치면 약 96%에 이르러 사료원료의 국내 자급도가 4%에 불과한 국내의 상황을 감안할 때 사료적 가치가 충분한 음식물찌꺼기의 사료로서의 이용이 논란의 대상이 되고 있다.<sup>8~10)</sup>

음식물찌꺼기의 발효사료화 방법은 인간의 식료품을 저장하는 전통적인 방법인 치즈, 메주, 간장, 알코올 등 생산과정에서 일반적으로 활용되고 있는 방법의 하나로서 음식물찌꺼기의 사료화 과정에서 가장 큰 문제로 제기되고 있는 Energy 과소비와 침출수 및 악취발생을 줄이면서 음식물찌꺼기를 사료화 할 수 있는 방법이다. 그러나 수분조절제를 적정비로 혼합하여 음식물찌꺼기가 함유하고 있는 높은 함수율과 낮은 C/N비를 적절히 조절하여야 한다. 국내에서 가장 많이 이용되는 수분조절제는 톱밥이다. 그러나 톱밥에 대한 수요가 많아 그 가격이 상승하게 되어 구매가 어려워지는 추세이다.<sup>11)</sup> 이에 새로운 수분조절제의 개발이 시

급한 실정이다. 임야가 차지하는 비율이 전체 국토면적의 65.7%를 차지하는 국내실정을 감안할 때 산야에서 풍부하게 자라는 산야초를 이용하는 것이 필요하다. 산야초중의 칙냉굴은 현재 산야에서 지나치게 번성하여 수목의 성장을 방해하고 있으나 자연적 번식 외에 통제가 불가능하여 산림관리에도 문제가 되고 있다. 이 칙냉굴은 한국 산야에서 채취가 쉽고 비교적 함수율이 낮아 이들을 채취하여 자연건조 후 그대로 축산사료로도 이용이 가능<sup>12)</sup>하지만 동시에 이를 적정한 입도로 분쇄하여 음식물찌꺼기와 혼합하면 생물학적 발효에 적정한 함수율과, C/N비, 통기성을 유지할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 음식물찌꺼기의 사료화를 위해 칙냉굴, 톱밥등 축산물의 대체사료로 이용 가능한 수분조절제를 혼합하여 C/N비에 따른 발효특성을 조사·분석하여 칙냉굴, 톱밥 등 생물반응을 통해 가축 사료화의 가능성을 검토하고자 한다.

## II. 실험재료 및 방법

실험에 시료로써 이용된 남은 음식물은 D대학교 내 학생식당에서 발생하는 남은 음식물을 수거하여 약 30분간 중력탈수 후 1~2cm의 크기로 파쇄 후 실험에 이용하였으며 수분조절제로 이용한 칙냉은 인근 야산에서 채취하여 자연건조 시킨 후 1~2cm의 크기로 파쇄 하였으며, 톱밥은 가구제조과정에서 발생하는 것을 칙냉굴과 마찬가지로 1~2cm의 크기로 파쇄하여 발효사료화 공정중의 보조제로 이용하였다. 본 실험에 이용된 음식물찌꺼기 및 보조제로 이용된 칙냉굴과 톱밥의 물리화학적 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. Characteristic of the raw material<sup>1)</sup>

Material	M.C(%)	VS(%)	pH	C/N
Garbage	82.9	91.5	5.7	12.4
Kudzu	17.3	94.2	7.1	64.7
Sawdust	13.2	92.8	5.1	282.4

Table 1.에 의하면 음식물찌꺼기의 함수율은 82.9%, 휘발성고형물은 91.5%로 조사되었으며, pH

는 5.7로서 약산성을 나타내었고 C/N비는 12.4로 조사되어 음식물찌꺼기의 발효사료화시 보조제와의 혼합이 요구되는 것으로 조사되었다. 그리고 조단백질 및 조지방은 23.9%, 13.5%로 각각 조사되어 사료로서의 이용가능성을 보이고 있었다. 그리고 칩과 톱밥의 함수율은 각각 17.3%, 13.2%로 거의 유사하게 나타났으나 C/N비는 64.7 및 282.4로 톱밥의 C/N비가 약 4배정도 높게 조사되었다.

발효사료화 실험에 이용된 실험방치는 Fig. 1과 같다. Fig. 1에 의하면 1cm의 두께의 아크릴판으로 제작된 실험장치는 지름 25cm, 길이 30cm의 원통형으로 제작하였으며 반응기 내부를 호기적 조건으로 유지하기 위한, 공기공급장치에는 공기를 가압하여 주입하는 방식(forced pressure ventilation)인 가압방식을 채택하여 공기컴프레샤(air compressor)로 강제 주입하였으며, 주입된 공기는 반응조 바닥에 설치된 다공판을 통하여 시료에 균일하게 접촉되도록 하였다. 그리고 반응기내부의 적정 교반강도를 조절하기 위한 교반기 및 초기온도의 조절을 위하여 반응기내에 가열기를 설치하였다. 그리고 상부에는 가스배출을 위한 가스배출구와 시료투입구가 설치되었다.

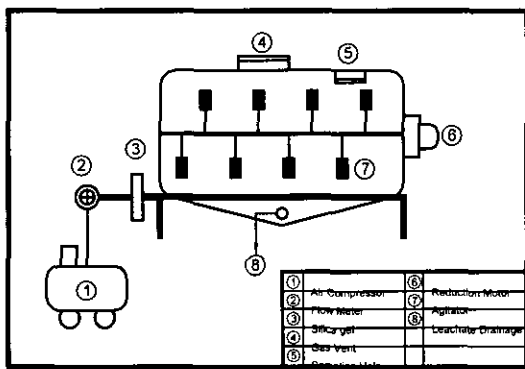


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus

본 연구에 대한 실험은 음식물찌꺼기를 발효사료화 하는데 있어서 칩 및 톱밥을 수분조절제로서 이용하고자 초기함수율 60%, 공기공급량 4L/kg.min, 교반강도 3회/일로 조절한 후 수분조절제로서 칩 및 톱밥을 음식물찌꺼기와 혼합하여 초기

C/N비를 15, 25 그리고 35로 조절하여 초기함수율 조절에 따른 영향을 조사하였다.

사료화 실험 중 반응조내부 물질의 물리화학적 성상 변화를 파악하기 위한 분석은 먼저 반응개시부터 6시간 간격으로 반응조 내부의 온도를 측정 한 후 반응조 내부의 사료화 물질을 혼합하여 균 질한 상태로 만든 다음 세군데 이상에서 채취한 시료를 골고루 섞어 분석용 시료로써 이용하였으며, 분석항목으로는 발효공정의 지표로써 반응조내부 물질의 pH, 온도, 함수율에 대해서 폐기물공정 시험법<sup>13)</sup>에 의거하여 분석하였다.

### III. 결과 및 고찰

C/N비는 미생물의 분해대상인 폐기물의 퇴비화에 직접적인 영향을 끼치는 가장 중요한 인자이다. 유기성 폐기물에 포함되어 있는 탄소는 미생물들이 성장하기 위한 에너지원으로, 질소는 미생물 합성에 필요한 단백질원으로 주로 이용된다. 일반적으로 퇴비화에 적합한 최적 탄질율은 25~40정도이며 퇴비화반응동안 미생물 그것과 비슷해질 때까지 분해가 이루어지는데 미생물세포의 탄질율은 보통 10정도로 알려져 있다.

탄질율이 높으면 질소결핍현상이 일어나 미생물의 증식이 억제되어 반응이 느려지게 되며 온도의 상승이 일어나지 않게 된다. 탄질율이 낮으면 질소가 암모니아로 변하여 대기중으로 방출되면서 악취를 발생시키게 되고 에너지원인 탄소의 부족으로 역시 온도가 상승하지 못하는 결과를 초래한다. 본 연구에서는 C/N비의 조절이 발효사료화에 미치는 영향을 조사하고자 칩과 톱밥을 이용하여 C/N비를 15, 25 그리고 35로 조절하여 반응조내의 온도, pH, 그리고 함수율 변화를 조사하였다.

#### 1. 온 도

Fig. 2는 칩을 수분조절제로 사용했을 때의 C/N 비 조절에 따른 온도의 변화를 보여주고 있다. Fig. 2에 의하면 반응조의 초기 C/N비를 15로 조절하여 운전한 경우 반응개시 18시간째에 최고온도인 58℃에 도달하였으며, 이후 온도가 감소하기 시작하여 반응종료시점인 72시간째에는 26℃를 나타내었

다. 초기 C/N비를 25로 조절하여 운전한 경우는 반응 12시간만에 50℃에 도달하였고, 시간이 지남에 따라 온도가 계속 증가하여 18시간째에 최고 68℃에 도달하였으며 이후 온도가 서서히 하강하여 72시간째에는 30℃로 조사되었다. 반응조 내부의 초기 C/N비를 35로 하였을 때는 반응개시 18시간째에 61℃를 나타내었으나 이후 온도가 하강하여 반응종료시점인 72시간째에는 26℃를 나타내었다.

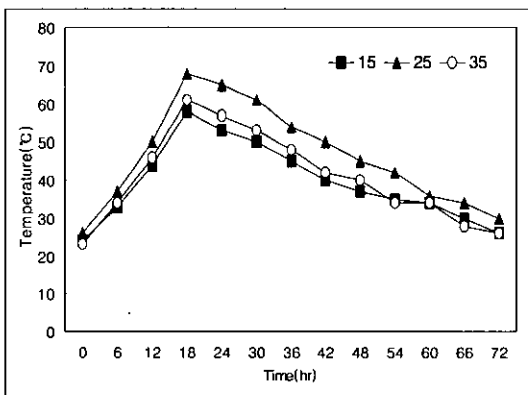


Fig. 2. Variation of Temperature with C/N ratio control (Kudzu)

Fig. 3은 톱밥을 수분조절제로 사용했을 때의 C/N비 조절에 따른 반응조 내부의 온도변화를 보여주고 있다. Fig. 3에 의하면 반응조의 초기 C/N비를 15로 조절하여 운전한 경우 반응개시 18시간째에 최고온도인 60℃에 도달하여 Gotaas<sup>14)</sup>의 연구결과에 의하면 병원균의 사멸이 가능한 것으로 생각되며, 이후 서서히 하강하여 반응종료시점인 72시간째에는 26℃를 나타내었다. 초기 C/N비를 25로 조절하여 운전한 경우는 반응개시 후 18시간째에 최고온도인 70℃를 나타내었으며 30시간째까지 60℃이상의 높은 온도를 유지한 후 온도가 서서히 하강하여 반응종료시점인 72시간째에는 35℃로 조사되었다. 반응조 내부의 초기 C/N비를 35로 조절하여 운전한 경우 C/N비를 15, 25로 조절했을 때와는 달리 반응개시 18시간째에 63℃의 고온에 도달하여 24시간째에 최고온도인 64℃를 나타내었으며 이후 온도가 서서히 감소하여 반응종료시점인 72시간째에 28℃를 나타내었다.

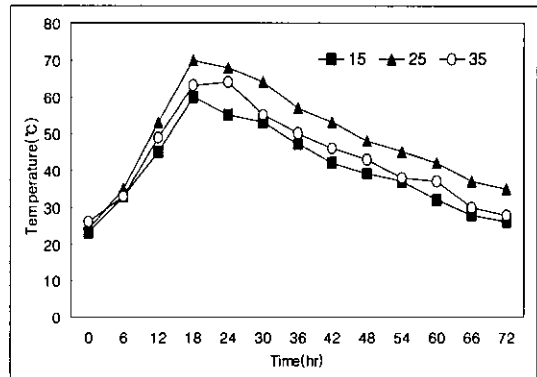


Fig. 3. Variation of Temperature with C/N ratio control (Sawdust)

## 2. pH

Fig. 4는 침을 수분조절제로 사용했을 때의 초기 C/N비 조절에 따른 반응조 내부의 pH 변화를 보여주고 있다. Fig. 4에 의하면 전체적으로 반응이 시작개시 후 일정수준의 pH를 유지하다가 시간이 경과함에 따라 pH가 차츰 상승하여 반응개시 54시간째부터는 높은 pH 값을 유지하는 것으로 조사되었다. 초기 C/N비를 15로 조절하여 운전한 경우는 반응개시 후 42시간째까지 pH에 별 다른 변화를 보이지 않다가 48시간째부터 점차 상승하여 66시간째에 최고인 pH 9.2에 도달하였으며 반응종료시점인 72시간째에는 pH 9.0을 나타내었다. 초기 C/N비를 25로 조절하여 운전한 경우 반응개시 후 12시간째까지는 pH가 감소하였다가 이후 점차 상승하여 48시간째에 pH 9.0을 나타낸 후 반응종료시점인 72시간째에 최고치인 pH 9.1을 나타내었다. 초기 C/N비를 35로 조절하여 운전한 경우에도 초기 C/N비를 25로 조절하여 운전한 경우와 비슷한 경향을 나타내었는데, 반응개시 후 18시간째까지 pH가 감소하다가 이후 점차 상승하여 54시간째에 최고치인 pH 9.2를 나타내었으며 반응종료시점인 72시간째에도 pH 9.2를 나타낸 것으로 조사되었는데 이는 일반적으로 발효가 진행됨에 따라 미생물 활동의 중간생성물인 유기산이 축적됨에 따라 초기 pH는 급격히 하락하며, 이후 생성된 유기산이 이산화탄소 및 물로의 산화가 진행될 뿐만 아니라 질소화합물의 분해가 이루어지기 때문에 반응의

후반기에는 pH가 상승되어 최종 pH는 7~8정도의 중성범위를 나타낸다고한 Nakasaki<sup>15)</sup>의 결과와 유사한 것으로 조사되었다.

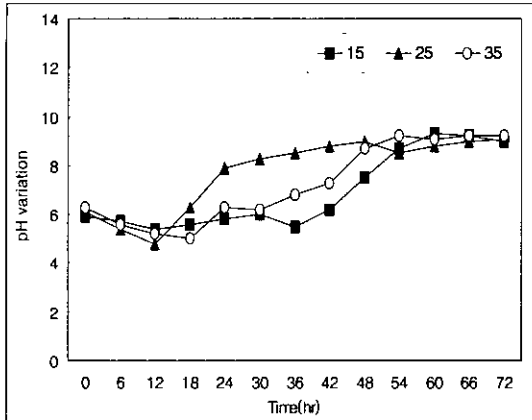


Fig. 4. Variation of pH with C/N ratio control (Kudzu)

Fig. 5는 톱밥을 수분조절제로 사용했을 때의 초기 C/N비 조절에 따른 반응조 내부의 pH변화를 보여주고 있다. Fig. 5는 수분조절제로 칩을 사용했을 때와 비슷한 경향을 나타내고 있으며, 초기 C/N비를 15, 25, 35로 조절하였을 때 각 반응의 종료시점인 반응개시 후 72시간째에 나타난 pH값과 각 반응의 pH 최고치에서 거의 차이가 없는 것으로 조사되었다. 초기 C/N비를 15로 조절하여 운전한 경우 반응초기에 pH 5.8로 시작하여 18시간째까지 pH가 감소하였다가 이후 차츰 상승하여 48시간째에 pH 8.2에 도달하였고, 66시간째에 최고치인 pH 9.1을 나타내었으며 반응종료시점인 72시간째에 pH 9.0으로 조사되었다. 초기 C/N비를 25로 조절하여 운전한 경우 반응초기에 pH 6.2로 시작하여 12시간째까지 pH가 감소하다가 이후 온도가 증가하여 54시간째에 최고치인 pH 9.3에 도달하였으며 반응종료시점인 72시간째에 pH 9.2를 나타낸 것으로 조사되었다. 초기 C/N비를 35로 조절하여 운전한 경우 반응초기에 pH 6.4로 시작하여 12시간째까지 pH가 감소하다가 이후 다시 증가하여 66시간째에 최고치인 pH 9.1을 나타내었으며 반응종료시점인 72시간째에는 pH 9.0을 나타내었다.

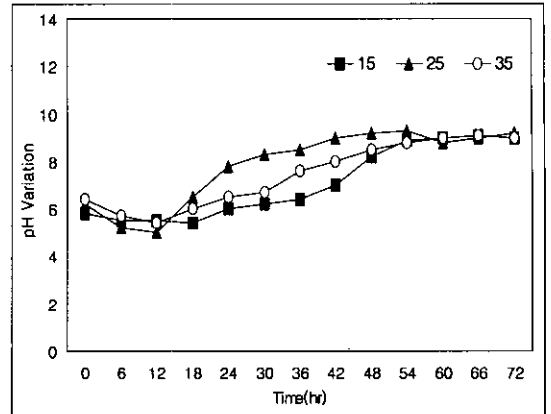


Fig. 5. Variation of pH with C/N ratio control (Sawdust)

### 3. 함수율

Fig. 6은 칩을 수분조절제로 사용했을 때의 C/N비 조절에 따른 반응조 내부의 함수율 변화를 보여주고 있다. Fig. 6에 나타난 결과에 의하면 반응개시 후 함수율은 지속적으로 감소하는 추세를 보이고 있으며, 초기에 조절한 C/N비가 높을수록 함수율의 감소 폭이 큰 것으로 조사되었다. 초기 C/N비를 15로 조절하여 운전한 실험에서는 반응개시 후 30시간이 경과하였을 때 함수율의 변화가 5%에 불과하였고, 54시간째와 66시간째에 가장 많이 감소하여 함수율 41%를 나타내었으며 반응종료시점인 72시간째는 운전시점보다 함수율이 8% 감소한 42%로 조사되었다. 초기 C/N비를 25로 조절하여 운전한 경우에는 초기 함수율이 60%로 시

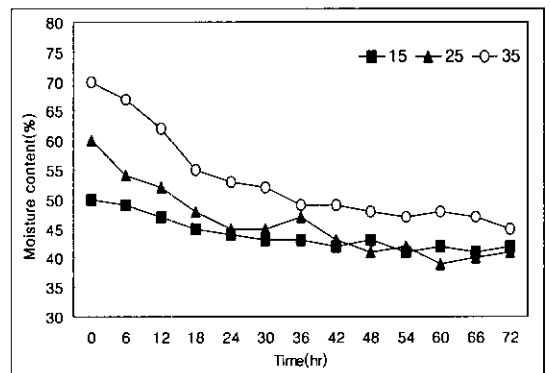


Fig. 6. Variation of Moisture content with C/N ratio control (Kudzu)

작하여 18시간째에 함수율이 12% 감소한 48%를 나타내었고, 60시간째에 가장 낮은 함수율 39%를 나타내었으며 반응종료시점인 72시간째에는 운전시점보다 함수율이 19% 감소한 41%를 나타내었다. 초기 C/N비를 35로 조절하여 운전한 경우 초기 함수율이 70%로 시작하여 반응개시 후 36시간째에 함수율이 21% 감소한 49%를 나타내었고, 반응종료시점인 72시간째에 가장 낮은 함수율 45%를 나타낸 것으로 조사되었다.

Fig. 7은 톱밥을 수분조절제로 사용했을 때의 C/N비 조절에 따른 반응조 내부의 함수율 변화를 보여주고 있다. Fig. 7에 나타난 결과를 살펴보면 칩을 수분조절제로 사용했을 때와 비슷한 경향을 나타내고 있으며, C/N비를 25로 조절하였을 때 반응종료시점에 72시간째에서 가장 낮은 함수율을 나타내었다. 초기 C/N비를 15로 조절하여 운전한 실험에서는 초기 함수율이 50%로 시작하여 30시간째에 함수율이 10% 감소한 40%를 나타내었고, 54시간째에 가장 낮은 함수율 38%를 나타내었으며, 반응종료시점인 72시간째에는 운전초기보다 10% 감소한 함수율 40%를 나타내는 것으로 조사되었다. 초기 C/N비를 25로 조절하여 운전한 경우에는 초기 함수율이 60%로 시작하여 반응개시 후 24시간째에 14% 감소한 함수율 46%를 나타내었고, 54시간째에 가장 낮은 함수율 37%를 나타내었으며 반응종료시점인 72시간째에는 함수율 48%를 나타내었다. 초기 C/N비를 35로 조절하여 운전한

경우 초기 함수율이 70%로 시작하여 반응개시 후 36시간째에 함수율이 23% 감소한 47%를 나타내었고, 42시간째에 가장 함수율이 가장 낮은 45%를 나타내었으며 반응종료시점인 72시간째에는 함수율이 47%로 조사되었다.

#### IV. 결 론

음식물찌꺼기의 발효사료화시 수분조절제로서 칩과 톱밥을 이용하여 초기 C/N비를 15, 25 그리고 35로 조절한 경우의 수분조절제에 따른 온도, pH, 함수율을 조사·분석한 결과 칩을 수분조절제로 이용한 경우에 비해서 톱밥을 수분조절제로 이용한 경우가 다소 우수한 것으로 조사되었으나 그 차이는 미미하였다. 초기 C/N비를 25로 조절한 경우의 최저 함수율이 칩 39%, 톱밥 37%로 나타나 가장 좋은 효율을 보였으며, C/N비를 35로 조절한 경우는 수분조절제에 관계없이 45%로 가장 저조한 결과를 보였다. pH의 경우는 수분조절제 및 C/N비의 변화에 관계없이 pH 9.1이상을 보임으로서 반응초기에 생성된 유기산이 원활히 분해된 것을 알 수가 있었으며, 반응조내부의 온도상승은 수분조절제로서 칩 및 톱밥을 혼합하여 초기 C/N비를 25로 조절한 경우가 68℃, 70℃로 조사되어 최고온도를 보이는 것으로 조사되어 본 연구에서 나타난 결과를 토대로 할 때 음식물찌꺼기의 발효사료화시 적정 C/N비는 25인 것으로 사료된다.

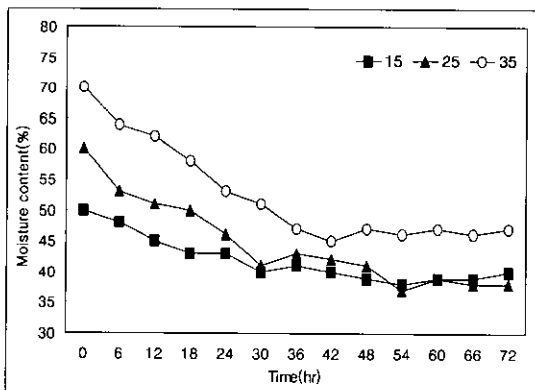


Fig. 7. Variation of Moisture content with C/N ratio control(Sawdust)

#### 참 고 문 헌

1. 이기영 : 음식물찌꺼기 사료화를 위한 발효기술 개발, 남은음식물 사료화 심포지엄, pp. 59-71, 1998
2. Kim, S. S., Ki, M. B., Kim, S. M. : PRESENT STATUS AND FUTURE OF ORGANIC WASTE MANAGEMENT IN KOREA, INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF BIO-RECYCLING/COMPOSTING, pp. I-5-1~ I-5-12, 1999
3. 최훈근: 지렁이를 이용한 음식물처리의 국내외 동향, 음식물쓰레기 줄이기 연구결과 공동발표회,

- 국립환경연구원, pp. 20-71, 1998
4. 신기준, 정완태 : 음식물 쓰레기의 가축사료 이용, 한국유기성폐자원학회 가을학술지, pp. 26-31, 1997
  5. 신형태, 정기환 : 발효를 이용한 잔반의 사료자원화에 관한 연구, 한국유기성폐자원학회지, pp. 32-50, 1997
  6. 유명진 : 음식쓰레기 퇴비화시설 타당성 연구, 서울시정개발연구원, 시정연 93-R-16, 1993
  7. 지재성 : 난지도 퇴비화 연구시설의 소개, 한국유기성폐자원학회 춘계학술발표논문집, pp. 16-22, 1998
  8. 유동준 : 남은 음식물 사료화의 당위성과 촉진 방안, 유기성폐자원학회 1998학년도 봄학술대회 Proceedings, 1998
  9. N, N. : 축산통계총람, 축산업협동조합중앙회, 1998
  10. N, N. : 단미·보조사료 현황, 한국단미사료협회, 1998
  11. 소만호 : 남은 음식물 사료화를 위한 추진상황 및 대책, 남은 음식물 사료화 심포지엄, pp. 3-16, 1999
  12. 김대진, 임완 : 칩 사일리지 조제에 있어서 물, 전분, 포도당 첨가 효과, 한국축산학회지, 제7권 제3호, p.162, 1987
  13. N, N. : 수질오염·폐기물·토양오염 공정시험 방법, 동화기술, 1998
  14. Gotaas, H. B. : Composting-Sanitary Disposal and Reclamation of Solid Wastes, World Health Organization, Geneva, 1956
  15. Nakasaki, K., Yaguchi, H., Sasaki, Y. and Kubota, H. : Effect of C/N Ratio on Thermophilic Composting of Garbage, J. of Ferment. Biocycle, 32, pp. 66-68, 1991