

음식물찌꺼기 소멸효율 재고를 위한 발효균 및 발효 공정 최적화 연구

김영권, 홍명표, 김명진, 홍석일, 박명석, 김종석, 장호근*

고려바이오연구소, LG전자
(경기도 화성군 정남면 신리 58-2)

Studies on the Selection of Microorganism for Food Wastes and Optimization of Fermentation Process

Young-Kwon Kim, Myung-Pyo Hong, Myung-Jin Kim, Suk-II Hong,
Myung-Suk Park*, Jong-Suk Kim*, Ho-Geun Chang*

Research Institute of Korea Biotechnology,
LG Electronics

ABSTRACT

For the effective disposal of organic food wastes, we selected 4 strains of microorganism from 186 microbial candidate via enzyme activity test, salt tolerance, food decomposition rate, stability and safety of strains. The identity of these 4 strains are as follows : Fungi is *Rhizopus sp.*, yeasts are *Galactomyces sp.*, *Pichia sp.* and *Hyphopichia sp.*. In the 50L fermenter scale, we tested various fermenting factor for the optimization of conditions of food waste decomposition using 4 selected strains. The optimum fermenting conditions were as follows : BIO-CHIP Volume 25-30 L, BIO CHIP size 2.0-6.0mm, air flow 200-280L/min, mixing intensity 2-4rpm, temperature 30-45°C. In these fermenting conditions, the efficiency of decomposition(rate of weight loss of food wastes) were 93%. Also the quality of fermenting output were assayed at the basis of fertilizer, and the results were as good as general compost.

Key Words : Food waste, strain selections, Fermentation process, Germination test.

초 록

186종의 후보미생물을 대상으로 우수발효(소멸)균 선발시험을 실시한 결과, *Rhizopus sp.*, *Galactomyces sp.*, *Pichia sp.*, *Hyphopichia sp.*로 구성되는 4종의 발효균을 선발하였다. 이들 발효균을 이용한 발효(소멸)공

정 시험결과, 내용적 50L의 발효조에 대해서, BIO-CHIP Volume 25-30L, BIO CHIP입도 2.0-6.0mm, 송풍량 200-280L/min, 교반강도 24 rpm, 온도 30-45℃가 최저 발효조건인 것으로 나타났으며, 이러한 조건에서 1일 1kg의 음식물을 30일간 투입하면서 소멸기를 가동한 결과, 93%의 소멸율을 나타내었다. 소멸기 배출물의 재활용 가치를 평가하기 위하여, 발아율 시험을 실시한 결과, 배출물을 적절하게 회석하여 사용하면, 퇴비로서의 가치가 매우 양호한 것으로 나타났다.

핵심용어 : 음식물찌꺼기, 균주개발, 발효공정, 발아율 시험

1. 연구개요

최근 음식물찌꺼기의 퇴비화와 관련하여 음식물 찌꺼기를 8~24시간 내에 완전 분해 및 퇴비화시킨다고 하는 소위 고속발효기가 여러 중소기업체로부터 산발적으로 출시되어 시장에 선보이고 있다. 그러나, 발효기의 생산물은 음식물찌꺼기를 단순히 건조한 것에 지나지 않아 퇴비로서의 가치가 거의 없으며, 작물에 시비할 경우 오히려 치명적인 약해를 유발시킴으로써 사용자의 불신감을 불러일으켜 음식물찌꺼기와 같은 귀중한 유기성 폐기물의 재활용과 산업 전반에 악영향을 끼치고 있다.

한편 가정에서 발생하는 음식물찌꺼기는 현재 자치단체 보조 하에 각 가정별로 발효 용기(plastic basket type)를 설치한 후 매일 음식물찌꺼기를 투입하고 발효제를 살포하는 방식을 취하고 있으며 발효 용기가 가득 차게 되면 중간집하 장치에 모으고 이를 그대로 농토에 묻거나 또는 퇴비장에서 후속과정을 거쳐 퇴비로 사용토록 하고 있다.

그러나 이러한 방식은 처리 방식 및 처리 기술의 미비로 각 가정에서 여러 가지 불편함을 야기시키고 있으며, 중간집하된 음식물찌꺼기를 완숙퇴비로 만들기 위해서는 대단위 시설에서 복잡한 후발효 공정을 반드시 거쳐야 한다는 문제점을 가지고 있다. 또한 생산된 퇴비 역시 쓰레기라는 인식으로 그 사용자의 구매 욕구를 충족시키지 못하고 있는 실정이다.

한편 일부에서는 APT 단위별로 음식물찌꺼기 처

리장치를 설치하여 각 가정에서 발생하는 음식물을 공동으로 처리하고 있으나 이 역시 관리기술의 미비, 처리장치의 기계적인 결함 그리고 관리 주체의 불확실성 등으로 인하여 가동이 제대로 되고 있지 않으며 악취로 인한 주민의 불편함, 처리후 배출물의 정확한 용도 부재 등으로 가동 중단 상태가 빈번한 실정이다.

이러한 점으로 볼 때, 각 가정에서 발생하는 음식물찌꺼기는 가정내의 단위 장치에서 완숙퇴비로 만들어 화분용 퇴비등으로 사용함으로써 가정에서 발생하는 유기성 폐기물은 가정 내에서 재활용하는 소위 closed recycling system이 바람직하다고 할 수 있다. 그러나 가정용 퇴비화 장치는 음식물찌꺼기를 가정 내에서 처리한다는 점에서 악취문제가 없어야 하며, 처리 공정이 시간적, 공간적으로 완벽해야 하나, 현재 장치의 기술적인 면으로 볼 때 만족한 수준은 아니므로 상기의 제반 필요 기술 확립이 선행되어야 하는 바, 본 연구를 통하여 가정에서 발생하는 음식물찌꺼기를 발효 소멸하는 장치 및 운용기술을 개발하고자 미생물을 선발하고 장치 운용에 필요한 최적 발효 공정인자를 도출하였으며 이에 따른 소멸시험을 수행하여 배출물의 퇴비로서의 효용가치를 평가하였다.

2. 소멸식 발효의 원리

모든 유기물은 충분한 산소의 존재 하에서, 미생물 의하여 이산화탄소와 물로 분해된다.

유기물의 미생물분해시에는 발효열이 발생하게 되며 이 열에 의하여 음식물의 수분은 증발하게 된다 또한 미생물은 무한정 증식하는 것이 아니라, 시간이 지남에 따라 자기산화(Autolysis)에 의하여 다시 유기물화되고 이는 상기와 같은 기작에 의하여 역시 소멸되는 것이다. 따라서, 유기물이 완전 발효되고 나면, 이론적으로 볼 때, 약 1-2%의 무기물만 남게 되는 것이다.

음식물자체는 함수율이 매우 높아(85% 내외), 통기성이 부족하므로 완전호기발효화 하기에는 부적합한 물성을 지니고 있다. 따라서, 소멸 system에서는 부족한 통기성을 보강하기 위하여 다량의 wood chip을 사용하게 되는데, 적절한 wood chip의 선택여하에 따라 소멸율에 많은 차이가 나게 된다. 이론치에 가까운 소멸율을 달성하기 위해서는 소멸장치의 가동조건(온도, 수분, 교반, 송배기, chip 사양 등)을 최적화하여 소멸에 관여하는 미생물의 활성을 극대화하여야 한다. 즉, 그 처리방법이 까다로운 음식물찌꺼기는 적절한 발효미생물과 적절한 소멸기 운용조건하에서 97- 98%소멸될 수 있는 것이다.

3. 재료 및 방법

3.1. 후보 발효균 확보

음식물찌꺼기의 소멸식 발효균 개발을 위한 후보균을 screening하기 위하여, 시중 유통되고있는 각종 발효제를 입수하여 우점균을 분리하였고, 음식물찌꺼기 자체에 존재하는 미생물과 당 연구소에 보유하고 있는 균주를 후보균으로 사용하였다.

3.1.1. 내구체 형성능 확인

발효도중 고온·건조 등의 악조건에서도 사멸되지 않고 그 활성을 유지하는 균을 선발하기 위하여 균 배양액을 80℃의 항온수조에 10분간 방치하고 상온으로 식힌 후 배양접시에 2-4일간 배양한 후

생존여부를 관찰하였다.

3.1.2. 내염성 확인 실험

Continuous type의 음식물 발효소멸에 있어서 가장 특징적인 현상중의 하나는 염분(또는 염류)의 계속적 축적이며 염분농도가 증가함에 따라 발효균의 내염성의 한계로 인하여 발효 효율은 저하될 수밖에 없으므로 소멸 발효균의 가장 기본적 성질인 염에 대한 내성을 확인하고자 NaCl농도가 1, 3, 5, 7, 10, 13%로 조절된 Tryptic Soy Agar배지 (Trypton 17g, Soyton 3g, Glucose 2.5g, NaCl 5g, K₂HPO₄ 5g, Agar 18g, 물 1L, 이하 TSA)와 PDA(DIFCO Laboratories, Detroit, MI, USA) 배지에 Streaking후 3일간 배양하여 내염성을 조사하였다.

3.1.3. 내열성 확인 실험

후보균의 온도별 배양성을 조사하여 내열성을 파악하므로써 발효최적 온도와의 상관성을 확인하고자 하였다. TSA와 PDA(DIFCO)배지에 대상균을 접종(streaking)한 후 30, 35, 40, 45, 50, 60℃ 배양기에서 3일간 배양하여 그 배양성을 조사하였다.

위의 3가지 test를 거친 균중에서 우수한 미생물을 선정하여 효소 활성도를 측정하였다.

3.1.4. 효소 생산력 및 활성도 조사

음식물 찌꺼기의 주성분인 탄수화물(곡물류), 섬유소(야채, 과일류), 단백질(생선, 육류) 및 지방(기름, 유지류)은 발효균에 의해 직접 발효될 수 없는 고분자 중합체(polymer)로 구성되어 있기에 발효균에 의해 생성 분비되는 각종 효소에 의해 monomer로 분해되었을 때 미생물 발효 될 수 있는 것이다. 따라서 우수 발효균의 기본요건은 이들 효소 생산력 및 활성이 높아야 한다는 것이며 본 시험에서는 음식물 찌꺼기 주성분의 분해에 가장 중요한 5가지 종류의 효소 생산력이 우수한 발효균을

선정하였다.

(1) 탄수화물 분해효소(Amylase) 검정

Amylase는 곡류의 주성분인 녹말을 Glucose(포도당)와 Maltose로 분해하는 기능을 하며 미생물을 포함한 모든 생명체의 가장 중요한 에너지 대사 효소이다. 미생물 배양용 고체 배지인 TSA에 Amylase 효소 측정용 시약인 starch azure (Sigma, St. Louis, USA) 0.2%를 첨가하여 고체 배지를 만든 후, 후보균 각각을 배양하여 청색의 배지가 무색으로 탈색되는 clear zone의 크기를 측정하여 효소 생산력 및 활성도를 조사하였다.

(2) 단백질 분해효소(Protease) 검정

생선 육류의 주성분인 단백질을 분해하는 효소로서 아미노산의 고분자 중합체인 단백질을 아미노산으로 분해하는 기능을 한다. 단백질은 약취를 발하는 주요 원인 물질로서, 탈취장치를 반드시 필요케 하는 성분이다. Nutrient broth(DIFCO Laboratories, Detroit, MI, USA) 8g을 1L의 물에 녹인 후 1% Skim milk(DIFCO)를 약수저로 조금씩 떨어뜨려 입자를 최대한 균일하게 분산시켜 고체배지를 만들면 혼탁한 배지가 만들어지는데, 여기에 발효균을 멸균 이쑤시개로 poking하면 Protease가 생산되는 만큼 혼탁한 배지가 투명하게 되는 clear zone이 형성되며 이 zone의 크기를 측정하여 효소 생산력을 조사하였다.

(3) 섬유소 분해 효소 (Cellulase)조사

과일, 야채의 주성분인 섬유소는 Cellulose, Hemicellulose, Lignin으로 구성되어 있으며, 이 중 Cellulose 함량이 가장 높다. Cellulase는 Cellulose를 포도당과 같은 단당류로 분해하는 기능을 한다. 실제로 음식물 찌꺼기의 50% 이상은 섬유소로 이루어져 있는 바, 이 섬유소를 분해하는 효소인 Cellulase는 가장 중요한 소멸화 효소라 할 수 있다. 1L의 물에 NaNO₃ 1g, K₂HPO₄ 1g, KCl 0.5g, MgSO₄ 0.5g, Yeast extract 0.05g, 0.5%

Carboxymethyl cellulose (DIFCO, 이하 CMC : low density를 사용했으며, 물에 잘 안 녹으므로 500mL의 물을 가열하면서 조금씩 넣고 저어주면 녹는다. 그리고 최종 부피를 1L로 맞춘다.)를 넣고 고체 배지를 만들었다. 배지에 대상 균을 poking한 후 어느 정도의 colony를 형성하면 0.1% Congo red(純正化學株式會社, Tokyo)액을 배지에 부어 30분간 염색시킨 후, 다시 1M NaCl 용액으로 30분간 세척하여 생성되는 clear zone의 크기를 측정하여 효소 생산력을 조사하였다.

(4) 섬유소 분해 효소 II (Lignase) 조사

섬유소 성분 중 분해율이 가장 낮은 Lignin을 분해하는 기능을 하며 실제로 섬유소 성분중 Cellulose의 분해는 Lignin이 분해되고 나서 시작된다. 소멸화 달성의 최대 난제가 바로 Lignin의 완전분해이다. 배지에 유일한 탄소원으로 Sodium-Lignosulfonic acid(林純藥工業株式會社, Osaka)를 사용하여 후보 균을 배양한 후 그 배양 성장성을 조사함으로써 Lignase 생산력을 측정하였다.

(5) 지방 분해 효소 (Lipase) 조사

지방류(유지, 기름)는 난분해성 유기물의 일종으로 발효가 제대로 이루어지기 위해서는 Lipase가 필수적이다. 비정상 발효시 지방성분은 다량의 악취물질을 발하는 특징이 있다. Lauria Bertani배지(Trypton 10g, Yeast extract 5g, NaCl 10g, Agar 18g, 물 1L, pH 7.5)에 0.5% Tributyrin (Sigma)을 첨가후, 10,000rpm, 1분 동안 homogenizing처리하여 고체 배지를 만든다. 여기에 발효균을 poking하면 Lipase가 생산되는 만큼 혼탁한 배지가 투명하게 되는 clear zone이 형성되며 이 zone의 크기를 측정하여 효소 생산력을 조사하였다.

3.1.5. 음식물찌꺼기 분획물 이용성 확인 실험

음식물찌꺼기는 그 물리적 성상으로 볼 때 다음과 같이 두 부분으로 나눌 수 있다. 첫째는 대부분

의 수분을 포함한 용출성 양분(고형물에 흡착되어 있는 유리성 양분 포함) 분획이며, 둘째는 상기 용출성 성분 이외의 고형물 분획이다. 음식물찌꺼기 발효의 초기 단계는 용출성 분획물의 발효단계이며 중, 후기 단계는 고형물 분획내의 유기물 발효 단계라 할 수 있다. 우수한 발효균이란 용출성 분획물과 고형물 분획내 유기물을 모두 효율적으로 분해하는 균으로서, 본 실험에서는 이러한 발효균을 선발하였다.

(1) 음식물찌꺼기 냉수 용출물에서의 배양성 검정

음식물찌꺼기에 냉수를 가하여 천천히 흔들여 얻어진 추출물을 이용하여 고체 배지를 만든 후, 발효균을 접종하여 배양 생장성을 측정하였다.

(2) 음식물찌꺼기 비용출성 분획물에서의 배양성 검정.

음식물찌꺼기 냉수 추출물 이외의 고형물 부분에 열수를 가한 후, 완전 분쇄한 것을 이용하여 고체배지를 만든 후, 발효균을 접종하여 배양 및 생장성을 측정하였다.

이상 효소 생산력 test와 음식물찌꺼기 분획물의 이용성 test를 거친 결과를 토대로 선발된 우수균을 대상으로 다음과 같은 실험을 실시하였다.

3.1.6. 음식물찌꺼기를 이용한 배양성 및 발생 취기 검정.

통제된 조건하에서 선발균이 음식물찌꺼기를 어느 정도 분해이용하고 또한 이때 어떠한 취기를 발하는지 다음과 같이 조사하였다.

(1) 음식물찌꺼기 열처리물 이용성 확인 실험

음식물찌꺼기에 기존에 있는 잡균의 간섭 영향 없이 선정균이 음식물찌꺼기에서의 배양성 및 취기 발생정도를 조사하여 우수 균을 재 선발하고자 하였다. 음식물 찌꺼기와 coconut peat를 3:1의 비율로 혼합하고 수분함량을 60%로 조절한 후 내열성 PP용기에 넣어 90℃에서 15분간 살균하였다. 하운시킨후, 우수 균의 액체 배양액 일정량을 각각 PP

용기에 접종하였다. 접종후 3, 6, 10일차에 시료를 채취하여 생장성을 측정하였으며 그 당시 취기를 조사하였다.

(2) 음식물찌꺼기 비열처리물 이용성 확인 실험

음식물찌꺼기에 기존에 있는 잡균의 존재 하에서 선발 균이 실제로 우점 배양되는지를 조사하고 그때 취기의 정도를 조사하여 우수 균을 재 선발하고자 하였다. 음식물찌꺼기 배합물을 살균처리하지 않은 것을 제외하고는 (1)의 경우와 동일하게 실시하였다.

3.1.7. 음식물찌꺼기를 이용한 액체 배양성 조사

음식물찌꺼기를 이용한 배양성 및 발생 취기 실험 결과를 근거로 선발된 균을 대상으로 하여 상호 길항성 및 음식물찌꺼기 액상추출물에서의 액체배양성을 조사하였다.

(1) 상호 길항성 확인 실험

선발 균의 상호간 억제 여부를 조사하여 선발 균 혼합사용시 균의 발효 효율 저하를 방지하고자, 선발 균을 TSA와 PDA(DIFCO)배지 상에서 상호 대치 배양하여 배양이 억제되는지 여부를 조사하였다.

(2) 음식물찌꺼기 액상추출물에서의 배양성 확인 실험

각 선발 균의 음식물찌꺼기 기질에 대한 적합성을 파악하고 액상 추출액에서의 배양성을 조사하여 반호기 상태에서 음식물찌꺼기 분해 이용능이 우수한 균을 선발하였다. 상호길항성 Test결과 길항현상이 없는 균과 비열처리 음식물찌꺼기 배양성 실험시 취기가 양호했던 균을 음식물찌꺼기 : 증류수를 중량비 1 : 4로하여 homogenizer로 분쇄한 후 상등액만 취하여 만든 액체배지에 접종하고 4일간 진탕 배양후 Plate Count Method로 균밀도를 측정하였다.

3.1.8. 선발균의 대량배양성 확인 실험

제품화를 위한 예비 생산시험과 톱밥배양성

Test를 실시하여 양산에 적합하고, 취급성이 좋으며, 톱밥 Chip에서의 배양성이 우수한 균종을 선발하고자 하였다.

(1) 발효균 양산성 가능 확인 실험

상업용 발효계로서 대량생산이 용이하고 톱밥을 chip재료로 사용할 때, 톱밥에 대한 생물학적 친화성이 양호하고 그 배양성이 우수한 균을 선발하기 위하여 발효균 선발을 위하여 톱밥을 수분조절(50-60%)하여 멸균한 후, 발효균을 접종하여 7일간 Solid-State Fermentation으로 배양한 후, 각 종균의 균밀도를 Plate Count Method로 조사하였다.

3.1.9. 균주동정

이상의 모든 실험을 통하여 선정된 발효균을 KAIST 유전공학 연구소에 동정, 의뢰하였다.

3.2. 바이오 칩 제조

최종선정균 각각을 실험실에서 500mL의 균액으로 배양한 후 이것을 20L규모로 대량 배양하여 포자를 생성하게 유도한 후, 이 액을 적당히 희석하여 톱밥에 접종한 후 고체 배양한 것을 바이오 칩으로 이용하였다.

3.3. 발효기 운용 조건 최적화

음식물찌꺼기를 효율적으로 소멸 발효시키기 위하여 기계장치를 제작하여 Table 1과 같이 다양한 조건을 선정하여 최적 공정 조건을 유도하였다.

Table 1. 소멸화 장치를 효율적으로 운용하기 위한 공정조건

조 건	범 위
송풍량 (l /hour)	50 - 400
온도(℃)	25 - 55
수분조절제 입도(mm)	1.0 - 10.0
수분조절제 투입량(l)	5 - 40
교반 횟수(rpm)	0.5 - 5
초기수분함량(%)	30 - 70

3.4. 음식물찌꺼기 소멸기 가동

발효 소멸 장치는 총용량 45L, 바닥 heater, shaft 및 impeller로 구성되어 있으며 배기구에는 먼지 filter와 탈취촉매를 부착하였고, 내용물의 상태를 감지하여 교반횟수가 다양하게 조절되는 자동 제어 장치를 채용하였다. 적정량의 바이오 칩을 소멸장치 내에 투입하여 30일 동안 1kg/일의 음식물 찌꺼기를 투입하면서 pH, E.C., 내용물의 무게 변화, 수분함량의 변화 그리고 미생물 분석을 5일에 한 번씩 실시하였다.

3.5. 소멸기 부산물의 품질 평가

3.5.1. 비료 성분 분석

음식물찌꺼기를 소멸발효시킨 부산물의 pH, 수분함량 그리고 비료성분을 ICP로 측정하여 비료로서의 가치를 평가하였다.

3.5.2. 발아율 측정 실험

음식물찌꺼기 소멸발효물의 비료효과 확인 및 발효물 투입비율에 따른 생장량 및 생장억제 정도를 분석하고 일반퇴비와도 비교분석을 병행하였다. 공시작물인 청송열무를 시중 구입하여 3일간 취아서 썬이 된 것만을 시험에 사용하였다. 발효 부산물 비료는 매일 1.0kg의 음식물 찌꺼기를 1개월 동안 투입하여 생산된 것을 사용하였고 비교 실험하기 위한 비료는 시중에 현재 유통되고 있는 P사의 부숙 퇴비를 사용하였다. 시험구 준비는 음식물찌꺼기 발효물(또는 시판퇴비) 대 처녀흙(황토)의 비율을 부피비로 0:100, 20:80, 40:60, 60:40, 80:20, 100:0이 되게 혼합하여 시험용 pot에 각각 충전하였다. 그리고, 각 시험구마다 취아된 열무종자 30개씩을 파종한 후 25℃에서 광조사하면서 10일간 재배하여 발아된 종자개체수와 발아종자의 길이 생장량을 측정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1. 후보 발효균 확보

전체 187종의 후보균을 선정하였으며 분리원별, 균종별 확보 현황은 Table 2, 3에 나타난 바와 같다.

Table 2. 균주 분리원별 확보 현황

분리원	균주수
발효제제품	48 종
당연구소 보유	89 종
잔 반	50 종
합계	187 종

Table 3. 균종별 확보 현황

균종	균주수
세균	103 종
곰팡이	43 종
효모	41 종
합계	187 종

4.1.1. 내구체 형성능, 내염성 및 내열성 측정 실험

187종의 확보균 중에서 18종을 제외한 나머지 모든 후보균이 내구체를 형성하는 것으로 나타나 발효제로 제제화 할 경우 제품내에서 안정성이 확보될 수 있으리라 기대되는 반면에 염에 대한 내성은 대부분의 균에서 미흡한 것으로 나타났다. 음식물찌꺼기를 30일 이상 투입하게 되면 염이 축적되는 것은 당연하며 선정균의 내염성이 낮으면 지속적인 소멸 발효를 수행하지 못하게 되므로 선정균의 기본 조건으로 5% 이상의 염에 대한 내성을 갖는 균을 28종 선정하였다. 대체적으로 곰팡이와 효모의 내염성이 우수하고, 세균의 경우는 저조한 것으로 나타났다. 또 분리된 균들의 내열성 실험을 병행한 결과 35-40℃에서 활발하게 성장하는 것으로 나타났다(Table 4, 5).

4.1.2. 효소 생산력 및 활성도 조사

Clear zone의 크기에 따라 효소의 활성도를 나타냈는데 amylase와 protease는 보편적으로 높은 활성도를 보이는 반면, cellulase, lignase는 세균에 비해 곰팡이와 효모의 활성도가 양호하였고, 지방류는 주로 효모에 의하여 분해되는 것으로 나타났다(Table 6).

4.1.3. 음식물찌꺼기 분획물 이용성 확인 결과

Table 7에서 나타난 바와 같이 효모류가 음식물찌꺼기의 용출성 부분을 효과적으로 분해, 이용하는 것으로 나타났고, 비 용출성 부분은 주로 곰팡이와 효모에 의해 분해되는 것으로 확인되었다.

확보균을 대상으로 내구체 형성능 test, 내염성 및 내열성 test, 각종 효소 생산력 test, 음식물찌꺼기 분획물 이용성 test 등을 실시한 결과, 모든 항목에서 공통적으로 우수한 기능을 발휘하는 23종을 선발하여 Table 8에 나타내었다.

4.1.4. 음식물찌꺼기를 이용한 배양성 및 발생취기 시험 결과

위의 23종의 선발균이 음식물찌꺼기와 coconut peat를 혼합한 열처리물 및 비열처리물을 이용하여 효과적으로 고체 발효를 진행하여 성장하는지를 확인하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 음식물찌꺼기 열처리물 이용성 Test

각 균종별로 성장성에 큰 차이를 보이고 있으며 취기 역시 다양하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 배양일수가 경과할수록 버섯향기, 퇴비향기, 달콤한 냄새등 취기가 양호해지고 있으며 효모와 곰팡이류가 더욱 그러한 것으로 나타났다. 세균의 경우 배양일이 경과할수록 밀도가 현저히 떨어지며 다양한 균종이 나타났으며 불쾌한 악취가 발생되어 부패가 진행되고 있음을 알 수 있었다.

반면, 곰팡이의 GLOF-A와 효모의 GLOY-A의 경우는 배양일이 경과할수록 밀도가 증가하여 우점

Table 4. 확보균의 내구체 형성, 내염성 및 내열성 실험 결과

균종	균주명	내구체형성능	내염성	내열성(℃)	균종	균주명	내구체형성능	내염성	내열성(℃)
	GL-D1	○	2	35		L-6	○		35
	GL-D2	○	4	35		L-7	○	1	35
	GL-BA	○	1	35		L-8	○	1	35
	GL-BB	○	1	40		G-67	○	2	40
	GL-8M	○	2	40		G-68	○	1	40
	J-9	×	1	45		G-69	○	1	45
	PI-1	×	1	35		G-70	○	1	35
	PI-2	○	1	35		GL-C1	○	1	35
	PI-3	○	5	45		HS	○	1	50
	SIC-1	○	1	35		BPG	○	2	35
	SIC-2	○	3	35		HMG	○	1	35
	SIC-3	○	1	40		EMG-1	×	1	40
	SUM-1	○	1	40		EMG-2	○	2	40
	SUM-2	○	5	35		PULG	○	1	35
	SUM-3	○	5	35		YWU	○	1	35
	CHUK-1	○	2	35		COMP	○	1	35
	CHUK-2	○	1	40		ECO-1	○	5	40
	CHUK-3	○	5	35		ECO-2	○	2	35
	SAEN-1	○	2	35		ECOL	○	5	35
	SAEN-2	○	1	35		MAM	○	1	35
	JE-1	○	1	35		BB500	○	1	35
	JE-2	○	1	45		KUSA	○	2	45
	JE-3	○	5	35		HWA-1	○	1	35
	G-1	○	1	35		HWA-2	○	1	35
	G-2	○	1	35		HWA-3	×	1	35
	G-3	○	1	35		G-87	○	1	35
	G-4	○	5	35		S-1	×	2	35
	G-5	○	5	35		S-2	×	2	35
	G-6	○	1	40		S-3	○	3	40
	G-7	○	2	35		S-4	×	2	35
	G-8	○	1	35		S-5	○	2	35
	G-15	○	1	35		S-10	○	1	35
	G-16	○	1	45		S-11	○	1	45
	G-17	○	3	35		S-12	○	1	35
	G-50	○	1	35		S-13	○	2	35
	G-72	○	2	40		S-14	○	1	40
	G-73	○	1	40		S-40	○	2	40
	G-74	○	5	35		JBG-1	○	2	40
	G-75	○	1	40		JBG-2	○	1	50
	GL-A1	○	1	45		JBG-3	○	3	45
	GL-B1	○	2	40		JBG-4	○	2	40
	GL-B2	○	2	40		JBG-5	○	1	40
	GL-B3	×	1	50		JBG-6	○	2	40
	L-5	×	1	40		JBG-7	○	1	45

#내구체 형성능의 유무에 따라 ○, ×로 표시.

내염성은 5%염 포함 배지에서 자라는 정도를 1, 2, 3, 4, 5로 표시

(1 : poor, 2 : weak, 3 : moderate, 4 : good, 5 : excellent)

내열성은 정상적인 생육이 가능한 최대온도를 표시

Table 5. 확보균의 내구체 형성, 내염성 및 내열성 실험 결과

균종	균주명	내구체형성능	내염성	내열성(℃)	균종	균주명	내구체형성능	내염성	내열성(℃)
세균	JBG-8	O	1	35	곰팡이	HMGF	O	2	35
	JBG-26	O	2	35		JBP-1	O	1	35
	JBG-42	O	2	35		JBP-2	O	3	35
	JBG-60	O	2	40		JBP-5	O	2	40
	SH-1	O	1	40		JBP-9	O	1	40
	SH-2	O	3	45		HSF-1	O	1	45
곰팡이	LF-4	O	5	35		HSF-2	O	1	35
	LF-6	O	5	35		효모	LY-9	O	2
	GLOF-A	O	5	45	GLOY-A		O	5	45
	GLOF-B	O	2	35	GLOY-B		O	2	35
	MSCH	O	1	35	GLOY-C		O	5	35
	LF-3	×	2	40	D-1		×	1	40
	P-1	O	5	40	D-2		O	2	40
	P-4	O	2	35	D-3		O	2	35
	P-5	O	1	35	D-5		O	3	35
	P-7	O	2	35	D-6		O	2	35
	P-8	O	3	40	D-7		O	2	40
	P-9	O	3	35	D-8		O	4	35
	P-17	O	2	35	D-9		O	1	35
	P-23	O	3	35	LSD-1		O	2	35
	P-23-1	O	2	35	LSD-2		O	3	35
	P-24	O	1	45	DT-702		O	5	45
	P-33	O	5	35	D-10		O	3	35
	P-38	O	2	35	D-11		O	3	35
	P-49	×	1	35	D-37		×	2	35
	P-50	O	1	35	D-42		O	1	35
	P-56	×	2	35	JBD-1		O	5	35
	P-60	×	1	35	JBD-2	×	2	35	
	P-64	O	5	40	JBD-3	O	5	40	
	P-66	×	2	35	JBD-4	O	5	35	
	P-69	O	2	35	PULD	O	2	35	
	P-71	O	3	35	EMD	O	3	35	
	HBL	O	5	45	BP-1	O	3	45	
	P-63	O	5	35	BP-2	O	2	35	
	APJG	O	3	35	TER	O	5	35	
	APJW	O	1	40	KJT-1	O	5	40	
	PUL-1	O	1	40	KJT-2	O	5	40	
	PUL-2	×	2	45					

#내구체 형성능의 유무에 따라 O, ×로 표시.
 내염성은 5%염 포함 배지에서 자라는 정도를 1, 2, 3, 4, 5로 표시
 (1 : poor, 2 : weak, 3 : moderate, 4 : good, 5 : excellent)
 내열성은 정상적인 생육이 가능한 최대온도를 표시

Table 6. 확보균의 효소 활성도 측정결과

균종	Label	효소 활성도					비고
		Amylase	Protease	Cellulase	Lignase	Lipase	
세균	GL-D2	5	5	3	5	2	
	PI-3	3	3	3	3	1	
	SUM-2	4	4	4	4	1	
	SUM-3	4	4	3	4	1	
	CHUK-3	3	4	3	5	1	
	JE-3	4	4	3	4	2	
	G-4	4	4	3	4	1	
	G-5	4	4	4	4	1	
	G-74	4	5	4	5	2	
	ECO-1	3	2	2	2	2	
	ECOL	3	1	1	2	1	
	곰팡이	LF-4	3	3	2	4	1
LF-6		3	3	4	5	2	
GLOF-A		4	4	5	5	2	
P-1		3	4	5	4	1	
P-33		4	4	4	4	2	
P-64		4	4	5	4	2	
APJW		1	3	3	4	1	
GLOY-A		5	5	3	3	4	
GLOY-C		3	4	4	4	2	
LSD-1		4	4	5	5	4	
효모	DT-702	5	4	5	5	1	
	JBD-1	1	1	4	2	4	
	JBD-3	4	4	5	4	1	
	JBD-4	1	1	4	4	2	
	TER	1	3	3	3	3	
	KJT-1	5	4	5	4	5	
	KJT-2	5	4	5	4	1	

1 : poor, 2 : weak, 3 : moderate, 4 : good, 5 : excellent

Table 7. 음식물찌꺼기 분획물 이용성 확인 결과

균종	Label	배양성		비고	
		용출물배지	비용출물배지		
세균	GL-D2	4	4		
	PI-3	2	1		
	SUM-2	4	3		
	SUM-3	4	4		
	CHUK-3	5	5		
	JE-3	5	3		
	G-4	3	1		
	G-5	4	3		
	G-74	2	4		
	ECO-1	1	2		
	ECOL	1	2		
	곰팡이	LF-4	3	5	
		LF-6	4	5	
		GLOF-A	5	5	
		P-1	5	5	
P-33		4	5		
P-64		5	5		
P-69		4	3		
HBL		3	2		
MD-8	3	4			
효모	GLOY-A	5	4		
	GLOY-C	5	5		
	LSD-1	5	5		
	DT-702	5	5		
	JBD-1	5	3		
	JBD-3	5	5		
	JBD-4	5	5		
TER	3	3			
KJT-1	4	5			
KJT-2	5	5			

1 : poor, 2 : weak, 3 : moderate, 4 : good, 5 : excellent

Table 8. 내구체 형성능, 내염성, 효소생산력 그리고 음식물찌꺼기 분획물 이용성이 우수한 선발균

균종	균주명
세균(8종)	GL-D2, SUM-2, SUM-3, CHUK-3, JE-3, G-4, G-5, G-74
곰팡이(8종)	LF-6, GLOF-A, P-1, P-33, P-64, P-69, HBL, APJW
효모(7종)	GLOY-A, GLOY-C, LSD-1, DT-702, JBD-3, KJT-1, KJT-2

이 되었고 취기도 양호하게 관찰되었다.

(2) 음식물찌꺼기 비열처리물 이용성 확인 결과 배양성과 취기 모두 3-1의 경우와 유사한 경향이었으며 특히 효모류가 우수한 것으로 나타났다. 즉, 효모류는 음식물찌꺼기의 기존 잡균 존재하에서도 우점배양되고 양호한 취기를 발생하고 있는 반면 곰팡이는 표면에만 배양되고 속에는 고온성 세균류가 우점되고 있는 것으로 나타났다(Table 10). 열처리물의 경우와 마찬가지로 세균의 배양성 및 취기는 좋지 않았으며, 곰팡이 GLOF-A와 효모 GLOY-A가 우수한 효과를 내었다.

이상으로 선발 우수균 24종을 대상으로 음식물찌꺼기 열처리, 비열처리물 이용성 test, 및 취기 조사를 실시하여 공통적으로 기능이 우수한 14종을 우수균으로 선발하였다.

Table 9. 발효균의 음식물찌꺼기 열처리물 이용성 확인 실험 결과

균 종	균주명	배양3일경과	
		균밀도($\times 10^5$)	취기
세균	GL-D2	700	C
	SUM-2	1100	C
	SUM-3	750	C
	CHUK-3	480	C
	JE-3	2	D
	G-4	9	C
	G-5	2000	B
	G-74	150	C
	LF-6	1100	B
	GLOF-A	1170	A
곰팡이	P-1	6	C
	P-33	340	C
	P-64	3	C
	P-69	600	C
	HBL	450	C
	MD-8	1260	B
	GLOY-A	830	A
	GLOY-C	28	C
효모	LSD-1	970	B
	DT-702	210	A
	JBD-3	1980	B
	KJT-1	980	B
	KJT-2	1120	B

A : 냄새를 거의 느낄 수 없음, B : 냄새가 약간 남, C : 냄새가 뚜렷하게 느껴짐 D : 냄새가 심하여 코를 자극함

Table 10. 발효균의 음식물찌꺼기 비열처리물 이용성 확인 실험 결과

균 종	균주명	배양3일경과	
		균밀도($\times 10^5$)	취기
세균	GL-D2	350	D
	SUM-2	4	D
	SUM-3	730	C
	CHUK-3	9	D
	JE-3	67	D
	G-4	2	D
	G-5	270	C
	G-74	35	C
	LF-6	72	C
	GLOF-A	870	B
곰팡이	P-1	4	C
	P-33	3	C
	P-64	2	C
	P-69	2	C
	HBL	1	C
	MD-8	1	D
효모	GLOY-A	980	A
	GLOY-C	54	C
	LSD-1	76	C
	DT-702	790	B
	JBD-3	28	C
	KJT-1	35	B
KJT-2	340	B	

A : 냄새를 거의 느낄 수 없음, B : 냄새가 약간 남, C : 냄새가 뚜렷하게 느껴짐, D : 냄새가 심하여 코를 자극함

위의 2가지 test를 거쳐 14종을 선정하여 Table 11에 나타내었다.

Table 11. 음식물찌꺼기를 이용한 고체 배양성 우수선발균

균 종	균 주 명
세 균(1종)	G-5
곰팡이(6종)	LF-6, GLOF-A, P-33, P-69, HBL, APJW
효 모(7종)	GLOY-A, GLOY-C, LSD-1, DT-702, JBD-3, KJT-1, KJT-2

4.1.5. 상호 길항성 및 액체 배양성 조사 결과

선발된 우수균 14종을 대상으로 하여 상호길항성 및 음식물찌꺼기 액상추출물에서의 액체배양성을 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 상호 길항성 실험

세균 G-5는 모든 선발균에 대하여 억제현상을 보이고 있어 다른 여러 균과 혼합 배양시 적합하지 않은 것으로 나타났으며, 곰팡이 P-69는 HBL, P-33, GLOY-A, DT-702에 대하여 억제현상을 나타내고 있었다. 나머지 선발균은 상호 길항능이 없는

것으로 나타나 미생물 배양액이나 톱밥에서 고체 배양을 실시하여 제제화를 할 경우 미생물간의 상호 억제현상은 없을 것으로 예상된다(Table 12).

(2) 음식물찌꺼기 액상추출물에서의 배양성 확인 실험 결과

음식물찌꺼기 액상추출액에서의 배양성 결과는 Table 13과 같으며, 균종별로 배양성 차이가 심한 것으로 나타났다. 곰팡이 GLOF-A는 1.5×10^8 밀도를 보이고 pH는 3.61로 가장 낮게 나타났다. LF-6은 7×10^7 밀도로 7.92의 pH를 나타내 음식물

Table 12. 선발균의 상호 길항성 확인 실험 결과

균 종	일련 번호	균주명	길 항 미 생 물 의 일 련 번 호														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
세 균	1	G-5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	2	LF-6															
	3	GLOF-A															
	곰팡이	4	P-69					+		+	+						
		5	HBL														
		6	MD-8														
		7	P-33														
효 모	8	GLOY-A															
	9	GLOY-C															
	10	LSD-1															
	11	DT-702															
	12	JBD-3															
	13	KJT-1															
	14	KJT-2															

Table 13. 음식물찌꺼기 액상추출물에서의 배양액 test 결과

균종	균주명	배양액물성				
		배양액밀도($\times 10^6$)	pH	E.C.	NaCl(%)	
세 균 곰팡이	G-5	5	4.72	3.2	0.27	
	LF-6	70	7.92	3.0	0.24	
	GLOF-A	150	3.62	4.4	0.29	
	P-33	55	3.65	3.6	0.37	
	P-69	12	5.39	4.0	0.25	
	HBL	9	5.62	3.9	0.26	
	MD-8	70	6.33	2.9	0.27	
	GLOY-A	420	7.71	4.0	0.26	
	GLOY-C	220	7.51	3.0	0.26	
	DT-702	78	7.41	3.5	0.24	
	효모	JBD-3	70	7.60	3.9	0.25
		KJT-1	250	6.21	3.8	0.27
		KJT-2	240	5.24	4.3	0.29
		LSD-1	100	8.08	4.1	0.28

찌꺼기 액상추출물을 이용하였음을 알 수 있었다. 효모의 절반이상이 높은 배양 밀도를 나타내 음식물찌꺼기 액상추출물을 효과적으로 이용하여 자기 증식에 이용하는 것으로 여겨지며, 배양액의 pH는 6-7내외를 나타냈다.

14종의 선발균을 대상으로 상호 길항성 확인 및 액상 추출액에서의 액체 배양성을 검증한 결과 8종의 우수균을 선발하였다(Table 14).

Table 14. 음식물찌꺼기 액상추출물에서의 배양성이 우수한 선발균

균 종	균 주 명
곰팡이(4종)	MD-8, LF-6, GLOF-A, P-33
효모(5종)	FN-13, GLOY-A, DT-702, KJT-1, KJT-2

4. 1. 6. 발효균 양산성 실험 및 대량 배양성 확인

선발된 8종 균의 제품화를 위한 예비 생산시험과 톱밥배양성 Test를 실시하여 양산에 적합하고, 취급성이 좋으며, 톱밥 Chip에서의 배양성이 우수한 균종을 선발하였다.

(1) 발효균 양산성 실험 결과

산업용 배지를 이용하여 양산성을 평가한 결과 Table 15에 나타난 바와 같이 곰팡이인 LF-6, GLOF-A는 106-7의 밀도를, 효모는 모두 108이상의 총균밀도를 나타내 대량생산의 가능성을 보였다.

Table 15. 발효균의 양산성 확인 결과

균종	균주명	배양액내 총균밀도($\times 10^8$)	배양물내포자(내구체) 밀도($\times 10^7$)
곰팡이	LF-6	80	65
	GLOF-A	160	150
	P-33	16	3
	MD-8	10	2
효모	GLOY-A	6800	6600
	DT-702	4590	4590
	KJT-1	3920	3880
	KJT-2	2200	2100

(2) 톱밥에서의 발효균 배양 수율 조사

Table 16에서 나타난 바와 같이 균종별로 톱밥에서의 배양수율이 크게 다르며 곰팡이 중에서 GLOF-A, 효모 중에서는 GLOY-A, DT-702, KJT-1이 우수한 것으로 나타나 이 균들을 톱밥에 접종하여 고체배양을 시킬 경우 제제로서 이용가치가 있음을 보였다.

Table 16. 톱밥에서의 배양수율 측정결과

균 종	균주명	균밀도(톱밥배양물 1g당)
곰팡이	LF-6	3×10^4
	GLOF-A	7×10^5
	P-33	4×10^5
	MD-8	2×10^5
효모	GLOY-A	2×10^7
	DT-702	8×10^5
	KJT-1	4×10^6
	KJT-2	7×10^5

4. 1. 7. 최종 선발 결과

발효균의 양산성 test 및 톱밥에서의 배양수율 조사 결과, 공통적으로 기능이 우수한 4종의 균을 선발하였으며, 이를 본 연구의 최종 선발균으로 하여 KAIST 유전공학 연구소에 동정의뢰 하였다. 동정 결과는 Table 17에 나타난 바와 같으며 상기의 효모 및 곰팡이는 발효식품내에서 또는 식품의 발효와 관련된 재료에서 주로 발견되는 것들이며 이들 균자체나 또는 분비물이 인체에 유해하다는 보고는 아직 없었다.

Table 17. 최종 선발균 및 동정 결과

균 종	균 주 명	동정 결과
곰팡이	GLOF-A	<i>Rhizopus spp.</i>
	GLOY-A	<i>Pichia spp.</i>
효모	DT-702	<i>Galactomyces spp.</i>
	KJT-1	<i>Hyphopichia spp.</i>

4. 2. 발효조건 최적화 연구 결과

소멸식 발효의 효능을 결정짓는 중요한 인자로는

미생물, 송풍량, 온도, 교반, Chip 종류, 수분함량 등이며, 이러한 조건을 다양하게 변화시켜 이들 인자조건을 최적화함으로써 소멸효율의 극대화를 유도하여 Table 18과 같은 결과를 얻었다.

Table 18. 음식물 찌꺼기 소멸화 장치의 최적조건

조 건	적 정 치
송풍량 (l/hour)	200- 280
온도(℃)	30-45
균종류	선발균 4종
수분조절제 입도(mm)	2.0-6.5
수분조절제 투입량 (l)	25-30
교반 횟수(rpm)	2-4
초기수분함량(%)	50-60

*표준 음식물 1000g/일 투입. 소멸기 내용적 50l

4.3. 음식물찌꺼기 소멸화 반응 결과

매일 1kg의 음식물찌꺼기를 투입하여 31일 동안의 소멸율과 수분함량, pH, E.C., 총균밀도의 변화를 Table 19에 나타내었다. Fig 1에서와 같이 pH는 8.0내외를 나타내고 E.C.는 지속적으로 증가하는데 이것은 미생물에 의한 음식물찌꺼기 발효에 따라 축적되는 염분에 기인하는 것으로 사료된다. 소멸율은 초기 2-3일 동안은 88% 내외를 나타내었으며 4일 이후 지속적으로 92% 이상을 유지하였다 (Fig 2). 소멸율과 총 균밀도가 증가되는 반면 수분함량은 50% 내외를 유지하는 것으로 관찰되어 투입되는 음식물찌꺼기의 유기물이 지속적으로 분해되는 것으로 유추할 수 있었다. Fig 3은 미생물상의 변화를 나타내는데 초기 세균밀도는 1.2×10^9 으로 5종의 세균이 관찰되었고, 초기 효모와 곰팡이의 밀도는 각각 8×10^6 과 9×10^6 을 나타냈다. 5종의 세균

은 전형적인 미생물 colony를 유지하며 10^{10} 이상의 밀도를 보였으며, 효모도 초기 3종이 우점하였으나 25일정도 경과하면서 2종이 10^6 밀도로 우점하는 것으로 관찰되었다. 곰팡이는 1종이 지속적으로 우점하기는 하나 10^4 내외로 밀도가 저하되는 것이 관찰되었다.

4.4.1. 소멸 산물의 비료 성분 분석

Table 20에서 나타낸 바와 같이 발효물내에 Ca, Mg등 2가의 양이온 농도가 매우 높은 편이며, pH가 9.0 내외로 다량의 암모니아를 함유하므로 비료로서의 가치는 충분한 것으로 판단된다.

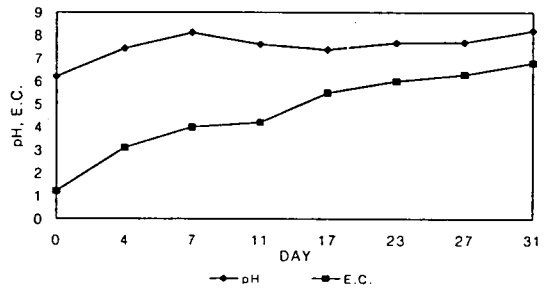


Fig. 1. 음식물찌꺼기 소멸기 가동에 따른 pH와 E.C.의 변화.

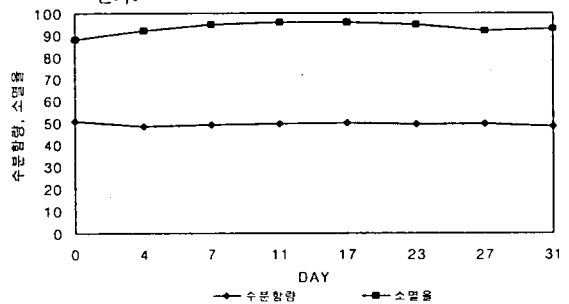


Fig. 2. 음식물찌꺼기 소멸가동에 따른 수분함량과 소멸율의 변화.

Table 19. 시간의 변화에 따른 소멸율, 균밀도, 수분함량의 변화

구 분	경 과 기 간(일)							
	1	4	7	11	17	23	27	31
투입중량(g)	1000	4,000	7,000	11,000	17,000	23,000	27,000	31,000
소멸량(g)	880	3,680	6,650	10,560	16,320	21,850	24,840	28,830
소멸율(%)	88.0	92	95	96	96	95	92	93
총균밀도	1.2×10^9	5.1×10^9	2.1×10^{10}	4.2×10^{10}	$.2 \times 10^{10}$	1.97×10^{10}	41.78×10^{10}	2.0×10^{10}
수분함량(%)	50.7	48.4	49.0	49.5	50.0	49.4	49.5	48.4

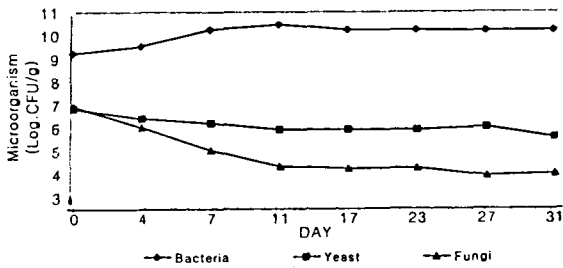


Fig. 3. 음식물찌꺼기 소멸화에 따른 미생물상의 변화.

Table 20. 발효물의 비료 성분 분석

분석성분	함량(%)			비고
	시료1	시료2	시료3	
pH	9.07	8.95	8.01	
Ash	6.01	4.45	12.5	
K	0.072	0.143	0.176	
Ca	0.830	0.384	2.044	
Mg	0.176	0.176	0.282	분석기기: ICP
Zn	0.017	0.010	0.014	
Cu	0.002	0.001	0.002	
Fe	0.060	0.026	0.080	
Co	*	*	*	
Mo	*	*	*	

시료 1 : 1.0kg/日 투입, 30일 경과, 시료 2 : 0.5kg/日 투입, 30일 경과
 시료 3 : Field에서 2.5개월 경과 (몽겨진 상태의 것) * : 극미량

4. 4. 2. 소멸 산물에 의한 발아율 시험

Table 21, 22, 23, 24에서 보이는 바와 같이 투입 비율만 적당히 조절하면 일반 시판 퇴비에 가늠하는 우수한 작물 성장 효과를 나타내므로 가정의 화분용 퇴비로도 사용이 가능한 것으로 사료된다.

(1) 발아율 검정 시험 결과

음식물찌꺼기 발효물과 황토흙을 섞어서 발아율 시험을 거친 결과 음식물찌꺼기 발효물대 황토흙의 혼합비율을 4 : 6으로 할 경우 일반 퇴비에 의한 발아율을 얻었다. 6 : 4로 혼합한 경우에는 초기에 다소 발아율이 저하되는 것이 관찰되었으나 6일 경과 후에는 일반 퇴비의 효과와 별다른 차이가 없는 것으로 관찰되었다. 음식물찌꺼기 발효물만을 처리한

실험구에서는 0%의 발아율을 얻어 발효물 자체를 퇴비로 사용할 수는 없음을 알 수 있었다.

Table 21. 음식물찌꺼기 발효물과 혼합 결과

잔반 발효물	혼 합 비 율		발아된 종자 개체수	
	치 너 흙		4일 경과	10일 경과
0	100		30(100)	30(100)
20	80		30(100)	30(100)
40	60		30(100)	30(100)
60	40		28(93)	30(100)
80	20		21(57)	21(70)
100	0		0	0

Table 22. 시판 퇴비와의 혼합 결과

시판 퇴비	혼 합 비 율		발아된 종자 개체수	
	치 너 흙		4일 경과	10일 경과
0	100		29(97)	30(100)
20	80		29(97)	30(100)
40	60		30(100)	30(100)
60	40		30(100)	30(100)
80	20		29(97)	30(100)
100	0		30(100)	30(100)

* 괄호안의 숫자는 발아율 (백분율)

(2) 초기 성장성 결과

음식물찌꺼기 발효물과 황토흙을 일정 비율로 섞어서 종자가 성장하는 길이를 측정하여 효과를 검정하였다. 대체적으로 발아율 실험 결과와 비슷한 양상을 보였으나, 시판 퇴비에 비하여 음식물찌꺼기 발효물 혼합 퇴비의 질적 효과가 약간 떨어지는 것으로 나타났다. 음식물찌꺼기 발효물과 황토흙의 혼합비율을 4 : 6으로 하여 사용하는 것이 가장 적합한 것으로 나타났다.

Table 23. 음식물찌꺼기 발효물과 혼합 결과

혼 합 비 율		평균 길이 성장량 (cm)	
잔반 발효물	처 녀 흙	4일 경과	10일 경과
0	100	4.7	9.1
20	80	6.7	10.1
40	60	6.0	9.3
60	40	2.3	7.2
80	20	0.5	0.7
100	0	0	0

Table 24. 시판 퇴비와의 혼합 결과

혼 합 비 율		평균 길이 성장량 (cm)	
시판 퇴비	처 녀 흙	4일 경과	10일 경과
0	100	4.8	9.2
20	80	6.0	10.4
40	60	5.8	9.8
60	40	5.5	10.4
80	20	5.2	10.0
100	0	4.5	10.5

4. 결과 요약

본 연구결과를 요약하면 다음과 같다

1. 186종의 후보균을 대상으로 하여 효소활성도, 음식물분해력, 내염성 등 각종 test를 실시한 결과 우리나라 음식물쓰레기의 발효에 적합한 미생물을 4종 선발하였으며 균주동정결과 이들은 Rhizopus속, Pichia속, Hyphopichia 속인 것으로 밝혀졌다.
2. 음식물 쓰레기 소멸을 위한 내용적 50L의 발효조 가동 공정인자 test를 실시한 결과, 소멸율을 극대화하기 위해서는 Chip Volume 30 - 35, Chip 입도 5 - 7mm, 송풍량 100 - 200L, 교반강도 4 - 6 rpm, 온도 35 - 45℃의 조건으로 가동하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

3. 상기 선발된 4종의 미생물을 이용하여 만든 Bio-Chip과 최적 Mechanism이 장착된 음식물 소멸기에 1일 1Kg의 음식물을 30일간 투입하면서 연속가동한 결과, pH는 8.2(초기 6.2)로 증가하였고, EC는 6.8(초기 1.2)로 증가하였으며, 함수율은 시험기간 내내 50±2%로 유지되었으며, 30일 후 소멸율은 93%인 것으로 나타났다. 발효물내 미생물의 밀도를 측정된 결과, 소멸기 가동기간 내내 1010/g의 수준으로 유지됨을 알 수 있었다.

4. 소멸기 배출물의 재활용가치를 평가한 결과, 배출물내에는 Ca, Mg등 식물성장에 필요한 2가의 양이온과 암모니아가 다량 존재하는 것을 확인하였으며, 또한 종자발아율 test를 실시한 결과, 일반퇴비 또는 흙과 적절하게 혼합하여 사용하면 발아율을 증가시킬 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

부호진 (1994), "도시쓰레기 종합 처리 시스템의 경제적 당위성 분석". 에너지 경제 연구원. 정책연구자료 94-01, pp. 2-5.

최민호, 조성은, 유정목, 정윤진, 박연희 (1995), "음식물 쓰레기의 호기성 분해를 위한 고온균의 분리 및 생육 특성". 유기성 폐기물 자원화 제 3권, 제1호, pp. 21-34.

Bagstam, G. (1977), "Population changes in microorganisms during composting of spruce-bark", Environ. J. Appl. Microbiol. Biotechnol, Vol. 6, pp. 279-288.

Chanyasak, V., Yoshida, T., and Kubota, H. (1980), "Chemical Components in Gel

- Chromatographic Fractionation of Water Extract from Sewage Sludge Compost". *J. Ferment. Tech.* Vol. 58, No. 6, pp. 533-539.
- Garcia, C., Hernandez, T., and Costa, F. (1991), "Study on the Water Extract of Sewage Sludge Composts". *Soil Sci. Plant Nutr.* Vol. 37, No. 3, pp. 399-408.
- Godden, B. and Pennincks, M. J. (1984), "Identification and Evolution of the Cellulolytic Microflora Present During Composting of Cattle Manure : On the Role of Actinomycetes sp". *Ann. Microbiol* 135B pp. 69-78.
- Gray, K. R. and Biddlestone, A. J. (1973), "Composting Process Parameters". *The chemical engineer.* Feb pp. 71-76.
- Hogan, J. K., Miller, F. C., and Finstein, M. S. (1989), "Physical Modeling of the Composting Ecosystem". *Appl. Env. Microbiol.* Vol. 55, No. 5, pp. 1082-1092.
- Hoitink, H. A. J., Kuter, G. A., and Kipp, C. E. Jr. (1984), "Optimum Process Parameters for Composting Sludge". *Ohio Report* Vol. 69, No. 3, pp. 35-49.
- Hoitink, H. A. J. and Fahy, P. C. (1986), "Basis for the Control of Soil Borne Plant Pathogens with Composts". *Ann. Rev. Phytopath.* Vol. 24, pp. 93-114.
- Hussong, D., Burge, W. D., and Enkiri, N. K. (1985), "Occurrence, Growth, and Suppression of Salmonella in Composted Sewage Sludge". *Appl. Env. Microbiol.* Vol. 50, No. 4, pp. 887-893.
- Katayama, A., Ker, K. C., Hirai, M., Shoda, M., and Kubota, H. (1987), "Stabilization Process of Sewage Sludge Compost in Soil". *Soil Sci. Plant Nutr.* Vol. 33, No. 1, pp. 123-135.
- Kuter, G. A., Hoitink, H. A. J., and Rossman, L. A. (1985), "Effects of Aeration and Temperature on Composting of Municipal Sludge in a Full-scale Vessel System". *J. Water Poll. Cont. Fed.* Vol. 27, No. 4, pp. 309-315.
- Martin, A. M., Evans, J., Porter, D., and Patel, T. R. (1993), "Comparative Effects of Peat and Sawdust Employed as Bulking Agents in Composting". *Bioresource Technol.* Vol. 44, pp. 65-69.
- MacGregor, S. T., Miller, F. C., Psarianos, K. M., and Finstein, M. S. (1981), "Composting Process Control Based on Interaction between Microbial Heat Output and Temperature". *Appl. Env. Microbiol.* Vol. 41, No. 6, pp. 1321-1330.
- Morel, J. L., Colin, F., Germon, J. C., Godin, P. and Juste, C. "Methods for the Evaluation of the Maturity of Municipal Refuse Compost", pp. 56-72.

- Gasser (de.). (1985), "Composting of Agricultural and Other Wastes". Elsevier Appl. Sci. Pub. New York.
- Nakasaki, K. and Akiyama, T. (1988), "Effects of Seeding on Thermophilic Composting of Household Organic Waste. J. Ferment. Technol. Vol. 66, No. 1, pp. 37-42.
- Nakasaki, K., Yaguchi, H., Sasaki, Y., and Kubota, H. (1990), "Effects of Oxygen Concentration on Composting of Garbage". J. Ferment. Bioeng. Vol. 70, No. 6, pp. 431-433.
- Nakasaki, K., Yaguchi, H., Sasaki, Y., and Kubota, H. (1991), "Effect of C/N ratio on Thermophilic Composting of Garbage". J. Ferment. Bioeng. Vol. 73, No. 1, pp. 43-45.
- Ottolenghi, A. C. and Hamparian, V. V. (1987), "Multilayer Study of Sludge Application to Farm land : Prevalence of Bacterial Enteric Pathogens and Antibody Status of Farm Families". Appl. Env. Microbiol. Vol. 53, No. 5, pp. 1118-1124.
- Paul, E. A. and Clark, F. E. (1989), "Soil Microbiology and Biochemistry". Academic Press. New York.
- Poincelot, R. P. (1971), "The Biochemistry and Methodology of Composting". Conn. Agric. Exp. Stn. Bull. 727.
- Poincelot, R. P. (1974). "A Scientific Examination of the Principles and Practice of Composting". Compost Sci. Vol. 15, No. 1, pp. 24-31.
- Regulski, F. J. (1984), "Changes in Physical Characteristics of Bark-based and Gasifier Residue-based Container Media over Time and by Sample Depth". Hort. Sci. Vol. 19, No. 4, pp. 494-496.
- Riffaldi, R., Levi-minzi, R., Pera, A. and Bertoldi, M. de. (1986), "Evaluation of Compost Maturity by Means of Chemical and Microbial Analyses". Waste Manag. Res. Vol. 4, pp. 387-396.
- Stevenson, F. J. (1986), "Cycles of Soil ; carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients". John Wiley & Sons. New York.
- Strom, P. F. (1985), "Effect of Temperature on Bacterial Species Diversity in Thermophilic Solid-waste Composting". Appl. Env. Microbiol. Vol. 40, No. 4, pp. 899-905.
- Strom, P. F. (1985), "Identification of Thermophilic Bacteria in Solid-waste Composting", Appl. Env. Microbiol. Vol. 40, No. 4, pp. 906-913.