

소나무 발효칩을 이용한 생활하수처리에 관한 연구

엄민섭 · 김남찬

광운대학교 공과대학 환경공학과

A Study on Wastewater Treatment by Fermented Chip of a Pine Tree

Min-Seop Eom and Nam-Chan Kim

Dept. of Environ. Eng., Kwangwoon University, Wolgye-dong 447-1, Nowon-gu, Seoul 139-701, Korea

Using the fermented chip can get spotlight because it needs just one installation for additional management and mending with additional 3~5% chip. However, fermented chip at present depends on import. Domestic sawdust used to control moisture and most of them are wasted. Therefore, there is a need to consider economic efficiency and recycling possibility of domestic sawdust as fermented chip. The objects of this study are to apply pine tree as fermented chip and to determine the optimum operating condition of treating facility. The stabilization time required for microorganisms to be attached in the media is as follows: fermented chip from a Korea pine tree required 13 weeks and fermented chip from a Japan pine tree required 14 weeks. In order to get sufficient treatment efficiency using domestic fermented chip, plant chip contains low non-biodegradable material as cellulose and appropriate of C/N should be used. The porosity can be increased by domestic chip with clay.

Key words: Fermented chip, Wastewater Treatment, Pine Tree, BOD, COD, MLVSS

1. 서 론

최근 적용되기 시작한 목재발효칩을 이용한 오폐수 처리시설은 한번의 설치로 연간 자연소멸되는 3~5%의 칩만을 보충하면 추가로 관리를 위한 인력이나 유지보수가 필요하지 않아 경제적인 시설로 각광받고 있다. 그러나 현재 사용중인 발효칩의 대부분이 수입에 의존하고 있어 국내에서 발생하는 목재폐기물의 발효칩 재활용 가능성 및 경제성에 관한 조사¹⁾가 절실히 요구된다. 또한 발효칩은 축산농가를 중심으로 처리시설등에 적용되고는 있으나 성능에 대한 기초자료와 개선방안에 관한 연구가 부족한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 국내 수종분포의 65%를 차지하여 구하기 용이한 소나무²⁾를 대상으로 목재 담체내에서의 조건별 미생물 부착특성을 관찰하여 발효칩 적용가능성을 판단하고자 한다. 또한 국내산 발효칩의 성능과 일본산 발효칩의 성능을 비교 분석하여 그 성능의 개선방안도 제시하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 재료

사용된 칩은 모두 소나무로서 그 중 국내산 소나무 칩은 서울소재 A공업사에서, 일본 소나무 칩은 강원도 원주시 소재 D엔지니어링으로부터 구하였다.

본 연구에 사용된 실험장치는 미생물의 부착특성을 관찰하기 위한 Aerobic reactor와 온도조절을 위한 Incubator로 구성되어 있다. 실험장치는 모두 2기로 각 기에는 국내 및 일본 소나무칩을 충전하였다. Aerobic reactor는 두께 5 mm의 아크릴을 사용하여 가로 200 mm, 세로 260 mm, 높이 1,500 mm로 반응기 안에 가로 140 mm, 세로 200 mm, 높이 75 mm의 셀을 16개 설치하고 각각의 셀에 발효칩을 70% 충전하였다. 반응기 상부에는 소나무칩과의 접촉을 위한 시료 투입구, 최하부에는 유출구를 설치하였으며 시료투입관은 10 mm 고무튜브관을 사용하였다. 일정량의 접촉시료 공급과 유량변동 제어를 위해 정량펌프(AX1-12, 천세

Table 1. Operational condition of reactor

Reacor	Condition	Type of chip	O ₂	Temp. [°C]	Weight of chip [kg]	Flow-rate [l/d]	Period [d]
C1	Domestic	Aerobic	10~50	3.0	20~100	120	
C2	Japanese	Aerobic					

Table 2. Physical and chemical property of fermented chip

Type of chip	Type of tree	Composition [%]			C [%]	N [%]	C/N Ratio	Void Ratio [%]
		Cellulose	Lignin	Pentosan				
Domestic	Pinetree	65	25	10	56.71	1.96	29	69
Japanese	Pinetree	61	32	7	50.32	2.18	23	80

Feeder)를 사용하였다.

본 연구에서 소나무칩과의 접촉에 사용된 시료는 서울소재 M아파트 단지 구내에서 발생하는 1차 처리된 일반 생활하수로서 1주일 간격으로 채취하여 사용하였다.

2.2. 방법

반응조의 운전조건을 Table 1에 나타냈으며 실험은 국내 및 일본 소나무칩을 사용하여 동일한 조건에서 분석하였다. 사용된 소나무칩은 대표성을 위하여 함수를 2% 이하로 충분히 건조시킨 후 혼합하여 건조중량 기준으로 3.0 kg씩 반응조에 충전하였으며 미생물의 부착 특성을 관찰하기 위하여 120일간 MLVSS의 농도를 측정하였다. 반응기내에 충전된 발효칩의 물리·화학적 조성은 Table 2에 나타낸 것과 같다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 발효칩의 미생물 부착 특성

3.1.1. 접촉시간에 따른 발효칩의 미생물 부착 특성

발효칩에 부착된 미생물의 특성을 알아보기 위하여 육안관찰과 실측을 수행하였다. 반응기에 BOD₅ 480 ppm, COD_{Cr} 210 ppm의 폐수를 유입시켜 목재칩을 발효시킨 결과 운전시작 후 10일이 지나면서 발효칩 표면에 gel상태의 미세 flocc이 다소 부착되기 시작하였으며, 13일이 지나자 옅은 녹색의 미생물군이 발효칩에 부착되기 시작하였다. 또한 MLVSS의 농도는 반응초기 510~570 ppm(평균 540 ppm)이었으며 운전시간이 연장될수록 MLVSS의 농도가 증가할 것으로 예상되어 1주일마다 발효칩을 조심스럽게 꺼낸 뒤 발효칩을 일정량의 물을 넣은 용기에서 저속으로 교반하여 미생물을 완

전히 털어낸 후 반응초기의 발효칩과 비교하여 MLVSS 농도를 관찰하였다.

다공성 담체의 경우 담체 투입 초기에는 현탁상태의 미생물이 담체의 기공 사이에 들어가게 되며 점차 담체 기공 사이에 갇힌 미생물은 계속적인 세포증가로 점점 농도가 높아지게 된다. 본 연구결과에서는 Fig. 1과 Fig. 2에서와 같이 MLVSS 1,830 ppm과 2,150 ppm에서 더 이상 증가되지 않고 steady-state를 유지하였다. 담체의 미생물 보유(biomass hold-up) 특성은 미생물 성장이 늘어나면서 담체 안쪽으로 기질유입이 제한되기 때문에 steady-state의 균형이 이루어진다. 또한 이 때에 담체에 고정된 미생물의 농도는 미생물의 성장과 담체의 마찰에 의한 미생물 탈리 사이에 균형이 이루어진다.³⁾ 그러나 본 연구에 사용된 다공성 담체인 발효칩은 미생물이 생물막 형태이기 보다는 고농도로 농축되어 있는 상태이기 때문에 steady-state가 미생물 성장과 마찰에 의한 미생물 탈리기 보다는 담체기공 사이의 미생물 성장과 담체 바깥으로의 확산이 평형을 이루고 있는 것으로 생각된다.

국내산 발효칩의 경우 대체적으로 완만한 증가를 보

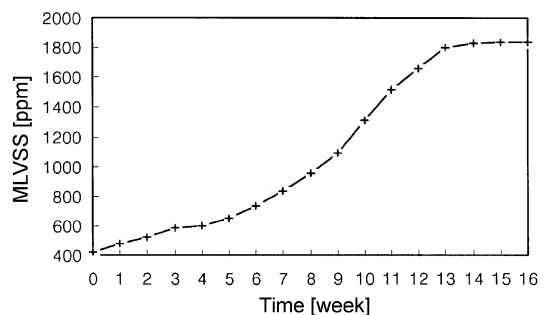


Fig. 1. MLVSS variation with operation time (Fermented Chip in Korea).

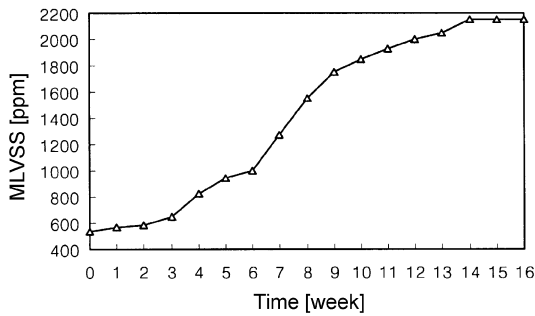


Fig. 2. MLVSS variation with operation time (Fermented Chip in Japan).

이다가 9주 이후로 급격한 MLVSS 농도의 증가를 보였다. 이것은 9주부터 발효칩내 미생물의 세포성장이 활발히 이루어지고 있음을 보여준다. 또한 13주부터 steady-state의 균형을 이루었다. 일본산 발효칩의 경우 6주가 지나면서 급격한 MLVSS 농도의 증가를 보였으며 14주부터는 steady-state의 균형이 이루어졌다. 위의 결과로 충분한 미생물 부착을 위하여 국내산 발효칩이 13주, 일본산 발효칩이 14주의 시간이 요구됨을 알 수 있었다. 또한 최종 MLVSS의 농도가 국내산 발효칩이 일본산에 비해 320 ppm이 낮았다. 이러한 사실로 볼 때 미생물 부착은 국내산보다 일본산 발효칩이 약간 우수한 것으로 판단된다. 이것은 국내산 발효칩이 일본산 발효칩보다 공극율이 11% 낮은 물리적 특성에 기인한 것으로 생각된다. 즉 국내산 발효칩은 미생물이 부착될 공간이 상대적으로 적으므로 일본산 발효칩보다 적은 미생물이 부착될 수 있으며 steady-state까지 1주일이 덜 소요되는 것도 이와 같은 사실을 뒷받침한다.

3.1.2. 온도변화에 따른 발효칩의 미생물 부착 특성

온도변화에 따른 발효칩의 미생물 부착특성을 관찰하기 위하여 유입유량을 20 L/d로 고정하고 온도를 10~50°C까지 변화시켜 실험하였다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 최초 10°C의 저온에서는 미생물의 활동이 억제되어 MLVSS의 농도에 차이가 없었으나 온도가 상승될수록 미생물이 활성화되어 MLVSS 농도가 증가하였다. 소나무 발효칩에 부착된 미생물의 MLVSS 농도는 모두 40°C에서 국내 소나무 발효칩(Domestic Fermented Chip, DFC)의 경우 1,778 ppm, 일본 소나무 발효칩(Japanese Fermented Chip, JFC)의 경우 2,440 ppm으로 가장 높은 미생물 부착특성을 나타내었다. 50°C의 경우, DFC와 JFC 모두 MLVSS의 농도가 40°C에 비해 각각 8.6%, 8.1% 감소하였다. 이것은 일부 부착된 미생물이 50°C에서 과도한 온도조건에 의해

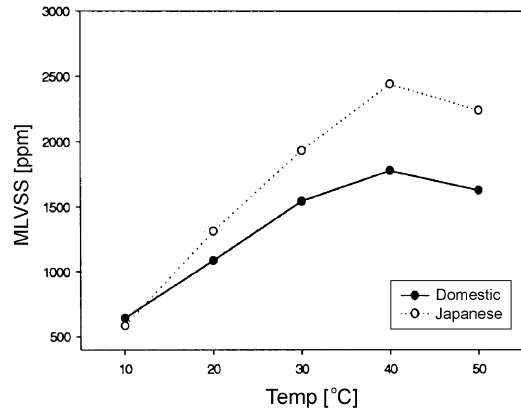


Fig. 3. MLVSS variation with temperature.

사멸된 것으로 판단된다.

3.1.3. 유입유량 변동에 따른 발효칩의 미생물 부착 특성

유량변화에 따른 발효칩의 미생물 부착특성을 관찰하기 위하여 온도를 40°C로 고정하고 유입유량을 20~100 L/d로 변화시켜 실험하였다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 MLVSS의 농도는 80 L/d에서 20 L/d를 기준할 때 DFC의 경우 64%, JFC의 경우 46%가 감소하여 유량이 증가할수록 미생물이 탈리된다는 사실을 알 수 있었다. 유량증가에 따른 미생물의 탈리현상은 유속증가에 따른 공극내 미생물에 대한 전단력의 증가 및 체류시간 감소에 따라 미생물이 기질과 충분히 접촉하지 못했기 때문으로 사료된다. 유량이 100 L/d 이상이 되면 상대적으로 탈리율이 둔화되었으며 이 때 부착되어 있는 미생물은 유속증가에 따른 전단력을 충분히 견딜 수 있는 크기의 미생물로 판단된다. 상대적으로

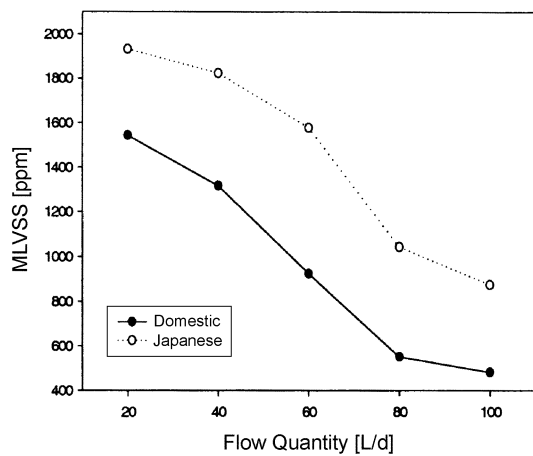


Fig. 4. MLVSS variation with influent flow quantity.

JFC가 DFC에 비해 낮은 탈리율을 보인 것은 공극율이 11% 우수하여 외부에서 발생된 유량변동에 따른 충격 부하를 완충시킨 것으로 판단된다.

3.2. 발효칩의 개선방안

실험 결과, 미생물의 부착성은 국내산 발효칩이 일본산 발효칩에 비해 미흡한 것으로 나타났다. 동일한 소나무 수종을 사용하였지만 Table 2에서 살펴본 바와 같이 두 발효칩의 물리·화학적 조성이 다른 것이 그 원인으로 사료된다. 우선 화학적 조성을 살펴보면 일반적으로 난분해성으로 알려진 셀룰로오스의 경우 일본산보다 국내산이 4%가량 함량이 높은 것으로 볼 때 발효 초기에 미생물이 성장하는데 있어 충분한 기질흡수가 어려워 미생물의 성장이 저하되었을 것으로 생각된다. 초기 C/N비가 29로 일본산에 비하여 약간 높다는 것이 그 사실을 뒷받침한다. 즉 C/N비가 높아 미생물이 과잉의 탄소를 소모하기 위하여 복잡한 경로를 거쳐 되고 그 결과 유입되는 시료의 유기물들을 충분히 소화하지 못하기 때문이다. 한편, 물리적 조성의 차이를 살펴보면 국내산 발효칩이 일본산에 비하여 공극율이 11%가량 낮아 물리적 흡착 및 미생물 성장에 필요한 산소공급이 어려웠을 것이며 또한 표면적의 감소에 따라 시료와 미생물과의 접촉도가 감소되었을 것이다.

따라서, 국내산 발효칩을 사용하여 충분한 처리효율을 얻기 위해서는 셀룰로오스와 같은 난분해성 물질의 함량이 적으면서 적정 C/N비를 가진 수종의 칩을 사용하는 것과 셀룰로오스의 분해와 공극율을 크게 향상시킬 수 있는 발효공정의 개발이 검토되어야 할 것으로 사료된다.

4. 결 론

1. 충분한 미생물 부착을 위하여 국내산 발효칩이 13주, 일본산 발효칩이 14주의 시간이 요구되었다. 또한 최종 MLVSS의 농도는 국내산 발효칩이 일본산 발효칩보다 320 ppm이 낮았다.

2. MLVSS의 농도는 반응초기 평균 540 ppm이었으며 MLVSS 1,830 ppm과 2,150 ppm에서 더 이상 증가되지 않고 steady-state를 유지하였다.

3. 소나무 발효칩에 부착된 미생물의 MLVSS 농도는 모두 40°C에서 가장 높은 미생물 부착특성을 나타내었다.

4. 유량이 증가할수록 미생물이 탈리되어 MLVSS의 농도가 낮아진다.

5. 국내산 발효칩을 사용하여 충분한 처리효율을 얻기 위해서는 셀룰로오스와 같은 난분해성 물질의 함량이 적으면서 적정 C/N비를 가진 수종의 칩을 사용하거나 셀룰로오스의 분해와 공극율을 크게 향상시킬 수 있는 발효공정의 개발이 검토되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 김재현, 정상기, “폐목재의 발생 및 재활용 실태”, *임업연구원 연구자료*, 1998, 99-111.
2. 임업연구원, “한국의 목재자원과 구조 및 임산업현황”, *임업연구원 연구자료*, 1994, 21-29.
3. 방두진, “호기성 생물막의 탈질기능을 이용한 PVA의 제거”, *대한환경공학회지*, 1998, 20-3.
4. Gabriel Bitton, “*Wastewater Microbiology*”, John Wiley and Sons, 1996, 88-106.