

식물성 유산균 혼합물을 활용한 환경 폐수의 정화능력 평가

이득식^{1,2} · 김남균³ · 심수용⁴ · 이동진² · 윤원병^{3,5,*}

¹ 한중대학교 호텔외식조리학과, ²(주)웰빙엘에스 생명과학연구소,
³강원대학교 바이오산업공학부 식품생명공학 전공, ⁴춘천시 수질관리팀, ⁵강원대학교 생명공학연구소

Evaluation of Purification Capacity of Vegetable *Lactobacillus fermentum* Culture System in Closed Environmental Waste Water

Deuk Sik Lee^{1,2}, Nam Kyun Kim³, Dong Jin Lee², Sooyong Shim⁴, and Won Byong Yoon^{3,5,*}

¹Department of Foodservice Industry, Hanzhong University

²Institute of Life Science, Well-being LS Co., Ltd.

³Department of Food Science and Biotechnology, School of Biotechnology and Bioengineering, Kangwon National University

⁴Chuncheon City Sewage Treatment Division

⁵Research Institute of Bioscience and Biotechnology, Kangwon National University

Abstract

Changes in total nitrogen (T.N.) and total phosphate (T.P.) content in environmental waste water upon the reaction of biological purifying reagents were measured and the reaction rate was evaluated. The purification capacity of two biological purifying reagents composed of vegetable *Lactobacillus fermentum* (V.L.F.), *Saccharomyces cerevisiae*(S.C), and *Bacillus subtilis*(B.S.) were evaluated and compared with that of commercial water purification system operating by local government. After 18days of reaction, the mixture of V.L.F. and S.C. showed dramatic decrease of T.N.(36.21% of the initial value). The mixture of V.L.F., S.C., and B.S. showed faster reaction rate to decrease T.P. compared with that of the mixture of V.L.F. and S.C. The reaction constant of mixture of V.L.F. and S.C. was estimated to be 0.178 day⁻¹ by the curve fitting of the data of changes in T.N. during the reaction.

Key words: vegetable *Lactobacillus fermentum*, *Bacillus subtilis*, purification capacity, reaction rate, waste water,

서 론

70년대 이후 급격한 산업화와 생활의 도시화로 인한 물 사용량의 증가는 생활 오폐수의 증가를 야기하였으며 이는 자연에 존재하는 호수와 하천의 부영양화를 초래하여 궁극적으로 자연정화 능력을 초과하여 호수와 하천에 존재하는 생물의 다양성의 상실과 생태계 파괴의 원인이 된다. 우리나라는 제도적으로 호수와 하천을 오염물질로 보호하기 위하여 다양한 노력을 하고 있으나 생활용 오폐수와 영세 가공업체에서 방류되는 오폐수에 쉽게 노출되어있다. 국내 수질오염원은 크게 생활하수, 산업폐수, 농축산폐수로 구분

이 가능하며, 그 중 가장 큰 비중을 차지하는 원인은 생활 하수로서 가정이나 음식점에서 배출하는 음식물찌꺼기, 폐 식용유, 분뇨, 합성세제등이 주요 오염물질이다. 이 같은 오염원은 일반적으로 물 속에서 호기성 미생물의 증가로 물 속에 녹아있는 용존산소의 산소량을 감소시키며, 또한 분뇨 등의 오염원은 질소와 인 같은 물질을 다량으로 함유하고 있으므로 물속에 존재할 시 식물성 플랑크톤의 대량 증식으로 인한 부영양화를 직접적으로 야기하는 원인이 된다(Seo et al., 2005). 농축산폐수는 농촌지역에서 많이 배출되고 가축의 분뇨와 양식장 등에서 배출되는 물고기의 배설물과 사체 등의 오염원을 주로 가지게 된다. 가축의 분뇨에 포함된 다량의 질소와 인은 농촌지역을 중심으로하는 호수와 하천의 부영양화를 심각하게 초래하는 원인이 된다. 산업폐수는 각종 유해성분의 농도가 생활하수보다 높아서 생태계에 심각한 피해를 줄 수 있으나, 정부의 국가정책으로 적절한 통제가 공장설립단계부터 이루어져 환경오염에 대한 피해를 최소화할 수 있다. 반면 농어촌지역에 밀집되어 있는 가공식품업체를 포함한 중소 원물가공업

Corresponding author: Won Byong Yoon, Department of Food Science and Biotechnology, School of Biotechnology and Bioengineering, Kangwon National University, Chuncheon, Kangwon-do, 200-701, Korea.

Tel: +82-33-250-6459; Fax: +82-33-241-0508

E-mail: wbyoon@kangwon.ac.kr

Received August 4, 2010; revised November 22, 2010; accepted January 20, 2011

체는 중금속등의 심각한 오염물질을 배출하는 경우는 낮으나 질소와 인성분이 높은 부산물 등으로 인한 환경오염 및 부영양화를 야기할 가능성이 높다.

일반적인 자정작용의 한계를 넘는 오염물질의 수질정화는 물에 떠다니는 부유물질을 거르는 스크린과정, 물의 유속을 줄여서 침전될 수 있는 물질들을 침전시키는 침전과정, 물리적 전처리과정을 통과한 폐수에 남아있는 유기물질의 호기성 미생물에 의한 분해과정, 미생물처리에 의해 제거되지 않은 유기물과 독성물질을 제거하기 위한 화학적 방법이 적용된다(Nazaroff and Alvarez-Cohen, 2001). 일반적으로 인성분은 수산화칼슘 혹은 황산알루미늄과 같은 응집제를 투입한 후 침전물을 생성시키는 화학반응 후 침전물을 제거하는 물리적인 방법을 사용한다. 이 같은 일련의 물리적 화학적 전처리를 거친 오폐수는 활성탄처리와 염소처리 후 재이용된다. 이 같은 수질정화 과정은 대도시나 하수관리가 잘 발달된 곳에서 실행되는 표준화되고 유용한 방법이지만, 각 지방단체에 존재하는 하천, 호수 및 저수지 등의 수질정화를 위해 사용하기에는 용이하지 않다. 특히 영농활동과 생활용 폐수에서 유래하는 분뇨와 비료 등에 의하여 야기되는 부영양화는 수온이 상승되는 시점에서는 직접적으로 환경에 영향을 주게 되며, 각 지방단체의 현안 문제로 등장하고 있다.

이 같은 부영양화 및 독성 환경오염물질의 문제를 해결하기 위하여 일반적으로 aluminum sulfate나 polyaluminum chloride와 같은 무기응집제를 이용한 포집, polyacrylamide derivatives나 polyethylene imine과 같은 유기합성 고분자응집제 및 chitosan, sodium alginate, microbial flocculants와 같은 천연응집제를 활용하는 방법이 연구되고 있다(Horan, 1990; Seo, 2005). 응집제들 중 유기합성고분자 응집체인 polyacrylamide derivatives의 단량체는 발암성과 신경독성 문제가 제기됨에도 불구하고 저렴한 가격과 높은 응집효율 때문에 가장 많이 사용되고 있다. 유기합성 고분자응집제와는 달리 바이오응집제(bioflocculants)는 일반적으로 독성이 없고 환경에 오염부하가 낮다(Salehizadeh and Shojaosadati., 2001). Halttunen et al.(2007)은 특정한 젓산 박테리아를 물속의 납과 카드뮴 제거에 활용 시 높은 정화도가 나타남을 보여주었다.

최근 유산균이 가지는 다양한 장점으로 수질정화에 사용되기 시작하고 있으며, 특히 식물에서 분리한 식물성 유산균은 일반적으로 대량 배양이 가능하고 내열성과 내산성이 강하며 암모니아(NH₃)를 분해하는 특징을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 이 같은 특징은 오폐수 처리 시 암모니아 가스 억제효과에 따른 악취제거 효과로 상업적인 응용이 시도되고 있다. 이 같은 식물성 유산균의 특징점은 최근 각 지방단체의 현안문제로 제기되는 축산분뇨방류, 농축산가에서 운영하는 중소 1차 가공식품의 부산물 및 폐수, 영농활동에 의한 과도한 비료사용 등에 의한 환경오염문제를

해결하는데 효과가 있을 것으로 예상되나 국내에서는 아직 수질정화에 대한 기초 및 응용연구가 진행되고 있지 않다. 본 연구는 콩 발효식품에서 분리된 식물성 유산균(vegetable *Lactobacillus*, V.L.)과 수질정화에 일반적으로 사용되는 미생물인 효모(*Saccharomyces cerevisiae*, S.C)와 고초균(*Bacillus subtilis*, B.S.)을 활용하여 하천과 호수의 부영양화를 초래하는 오폐수에 대한 정화능력을 평가하고, 이들로 구성된 정화제를 정지된 호수나 움직이는 하천에 실제적으로 활용 시 정화도를 평가하기 위하여 필요한 실험인자인 반응속도 상수를 실제 오폐수의 환경과 유사한 반응기 환경을 조성하여 실험 데이터의 분석을 통하여 도출하고자 하였다.

재료 및 방법

실험용 오폐수의 수거

본 실험에 사용된 실험용 오폐수는 강원도 춘천시 공지천의 지류를 통하여 춘천시 수질관리소의 수질정화소로 유입되는 실제 하천 유입수를 사용하여 실제 오염환경과 가장 유사한 시료를 수거 하였다. 시료는 오염정도가 가장 높아지는 5-6 월의 시료를 수거하여 분석하였다. 시료 수거 시의 온도는 21(±3)°C를 유지하였다. 수거된 시료는 생물학적 반응에 활용하였으며, 반응에 사용되지 않은 시료는 냉동 보관하여 반복실험에 사용하였다.

실험용 생물학적 정화제의 배합

본 실험에 사용한 미생물은 총 3 종류로 식물성 유산균(vegetable *Lactobacillus fermentum*, V.L.F.)과 수질정화에 일반적으로 사용되는 미생물인 효모(*Saccharomyces cerevisiae*, S.C), 와 고초균(*Bacillus subtilis*, B.S.)이다. 식물성 유산균(V.L)은 특허균주인 식물성유산균 JS(등록번호 0435168, *Lactobacillus fermentum J.S.*)을 (주)웰빙엘에스(Gangneung)에서 공급받아 사용하였다. 본 유산균주는 콩 발효식품에서 분리되었으며 내산과 내열성을 지니고 있으며, 이 균주를 다른 균주와 혼합하여 수질개선 효과를 입증하기 위하여 본 실험에 사용하였다. 효모와 고초균은 (주)웰빙엘에스에서 배양하여 사용하였다. 미생물을 수질정화용 혼합제로 사용하기 위하여 동결건조를 통하여 분말화하였다. 동결건조는 균체를 15000 rpm으로 원심분리하여 수집한 후, 균체의 물리적 손상을 피하기 위한 동결보호제로서 단백질과 다당류를 첨가하여 균체와 잘 혼합한 후 -40°C로 동결시킨 후 감압 하에서 건조하여 제조하였다.

본 실험은 두 가지의 미생물 혼합비를 사용한 혼합제로 그 정화도를 측정하였다. 혼합제 1은 V.L.과 S.C.의 함량을 각각 1×10^7 CFU/g과 1×10^6 CFU/g으로 조절 후 혼합하여 사용하였으며, 혼합제 2는 V.L., S.C.와 B.S.를 1×10^7 CFU/g, 1×10^6 CFU/g와 1×10^6 CFU/g로 조절하여 혼합 후

사용하였다. 위 혼합제에 사용된 혼합비와 균수는 특허등록(등록번호 0435168)에서 입증된 최적화된 혼합비와 함께 상업적 응용이 가능한 균수로 조절하였다. 일반적으로 균수가 증가할수록 효과는 크나 경제적인 측면을 고려하여 그 효과가 나타날 수 있는 최소균수인 10^6 - 10^7 으로 제한하여 상용화가 가능한 실험 데이터를 얻고자 하였다.

식물성 유산균주의 내열성과 내산성실험

본 실험에서 사용된 식물성유산균인 V.L.F.의 내산성실험을 pH 2와 pH 3에서 실시하여 일반적인 유산균(*L. acidophilus*)과 초기균수, 1 시간 배양, 2 시간 배양을 하여 총균수를 측정하여 성장도를 비교하였다. 내열성실험은 90°C에서 2 분간 반응 시킨 후 생존율을 비교하여 측정하였다.

총질소와 총인함량의 측정

본 연구의 주목적인 분뇨등으로 인한 부영양화에 의한 오염물질의 정화 정도를 평가하기 위하여 수거된 시료, 생화학적 반응기를 통한 시료, 춘천시 수질정화소의 수질정화공정을 거친 방류수의 총질소(total nitrogen, T.N.)와 총인(total phosphate, T.P.)를 측정하였다. 총질소와 총인은 수질관리의 가장 기본적인 인자로 국공립기관 및 연구소에서 공식적으로 사용되고 있으며 측정은 Standard Method (American Public Health Association - American Water Works Association - Water Environmental Federation, APHA-AWWA-WEF)에 준하여 실험하였다. 본 연구에서 총질소함량을 측정하기 위하여 흡광도법(ultraviolet spectrophotometric method)을 활용하였다. 시료는 UV-Spectrophotometer(Optizen 2120 UV plus, Mechasy Co., Daejeon, Korea)를 활용하여 220 nm에서 흡광도 측정을 통해 분석되었다. 흡광도계를 통과하기 이전 전처리 과정으로 시료 50 mL에 알칼리성 과황산 칼륨 용액 10 mL를 넣고 혼합 후 고압증기멸균기에서 120°C에 도달 후 30 분간 가열분해한 후 방냉을 거쳤다. 흡광도분석을 위하여 전처리된 시료의 상등액은 유리섬유지를 통하여 여과 후 여액에 염산을 취하여 pH 2-3으로 조절 후 흡광도측정 및 분석을 하였다. 220 nm에서 측정된 흡광도는 질산성 표준 원액을 10 배로 희석하여 만들어진 표준곡선에 따라 총질소함량을 측정하였다. 총인의 함량도 동일한 절차를 거쳐 측정되었다.

실증실험을 위한 반응기의 설계

본 연구는 특정한 산업화된 정화공정을 갖춘 정화시설을 거치지 않고 하천이나 호수에서 미생물을 활용하여 정화되는 정도를 평가하는 목적을 가지고 있으므로 반응기를 실험 목적에 맞게 자체 제작하여 실험에 사용하였다. Fig. 1은 본 실험을 위해 제작된 반응기의 기본적인 구조를 나타낸 도해이다. 본 실험은 실제적인 하천과 호수의 환경과 유사한 생물학적 반응조건을 만들기 위하여 개방형 반응기

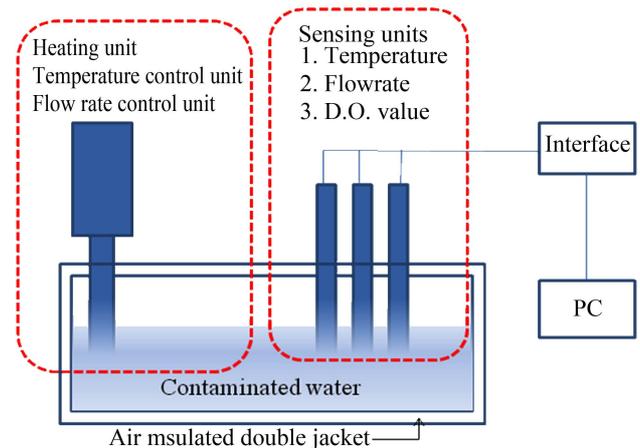


Fig. 1. Schematic diagram of bioreactor.

를 사용하였으며 실험에 사용되는 미생물의 성장을 위한 별도의 추가 산소공급장치는 장치하지 않았다. 온도는 반응기 내부는 가열장치를 활용하여 조절하였으며 반응기 외부의 온도는 실험실의 공조시스템(air conditioning system)을 활용하여 조절하여 하천과 호수의 온도와 유사한 21 (± 4)°C를 반응 전체 과정에 걸쳐 유지하였다. 반응기 내의 온도와 용존산소량은 반응 전 기간 동안 실시간으로 측정하여 PC를 통하여 분석하였다. 온도와 용존산소량은 온도센서와 용존산소센서(Vernier Software & Technology, Beaverton, OR, US)를 통하여 측정 후 입력신호는 인터페이스인 LabPro(Vernier Software & Technology, Beaverton, OR, US)를 통하여 컴퓨터에 직접 전달하였다. 반응기는 펌프와 히터를 장착하여 온도조절과 함께 완전교반이 일어날 수 있도록 설계하였다. 이 같은 반응기는 생물학적 정화반응을 실제 하천과 호수에 근접하게 재현시킬 수 있으며, 특히 흐름이 미약한 호수에서의 생물학적 정화반응을 해석이 가능하게 하였다.

생화학반응의 모델링과 유의차분석

반응기를 통한 반응을 해석하기 위하여 1차 화학 반응식을 사용하였으며 실험에서 측정된 데이터를 활용하여 반응식의 조변수를 도출하기 위하여 최소자승법을 활용한 곡선 적합절차를 거쳤으며 모델링은 Microsoft Excel에서 수행하였다. 각 반응에 따른 통계적 유의차를 해석하기 위하여 Student's t-test를 Microsoft Excel 2007을 활용하여 수행하였다.

결과 및 고찰

V.L.F.의 내열성 및 내산성 특성

연구에 사용된 V.L.F.의 내산성은 pH 2와 pH 3에서 반응전의 균수인 초기균수와 1 시간과 2 시간 경과후의 균수

Table 1. Total cell contents of vegetable *Lactobacillus fermentum* and *Lactobacillus acidophilus* in acidic condition

Microorganism	pH	Cell amount (CFU/g)		
		0 min	1 min	2 min
<i>Lactobacillus fermentum</i>	2	7.0×10^7	5.0×10^7	2.0×10^7
	3	7.0×10^7	9.2×10^7	2.5×10^7
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	2	7.0×10^7	2.9×10^4	7.0×10^2
	3	7.0×10^7	3.3×10^3	7.0×10^2

Table 2. Total cell contents of vegetable *Lactobacillus fermentum* and *Lactobacillus acidophilus* after 2 minutes of heating at 90°C

Microorganism	Cell amount		% of survival
	No heat treatment (CFU/g)	90°C, 2 min (CFU/g)	
<i>Lactobacillus fermentum</i>	293×10^7	261×10^7	89.0
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	290×10^7	132×10^7	45.5

를 측정하여 대조군으로 사용한 *Lactobacillus acidophilus* 와 비교하여 평가하였다. Table 1에 나타난 것과 같이 V.L.F.는 pH 2와 pH 3에서 모두 1대수량(10^7 CFU/mL)의 균수의 저하가 있었지만 생존율은 매우 높은 상태로 존재 하였으며, 대조군으로 사용된 *Lactobacillus acidophilus*의 경우 pH 2와 pH 3에서 각각 5 대수량(10^5 CFU/mL)의 감소가 있었다. 이 같은 생존도는 V.L.F.가 다른 미생물에 비하여 산저항이 강함을 알 수 있다.

V.L.F.의 내열성은 90°C에서 2분간 가열하여 생존균수를 측정하여 측정하였다(Table 2). 일반적으로 유산균은 90°C의 고온에서 짧은 시간에 사멸되므로 단시간인 2분을 방치하여 내열성을 비교하였다(Byun, 2002). 본 실험에 사용되는 식물성 유산균인 V.L.F.는 대조군인 *Lactobacillus acidophilus*에 비하여 내열성이 높아 90°C의 2분간의 열처리에도 89%이상의 생존율을 보여 주었다. 이 같은 내산성 및 내열성은 본 실험에서 사용하는 V.L.F.가 하천이나 호수의 수질정화에 사용될 시 산성폐기물이나 고온으로 유지되는 농수축산 폐기물(예, 분뇨처리)의 처리시설에도 활용이 가능함을 보여 준다.

상온 실증실험

연구에 사용되는 두 가지의 미생물혼합제를 실제 하천에서 수거한 오염수에 투입하여 실험실용 반응기에서 배양반응을 시켜 정화되는 정도를 측정하였다. 각 혼합제를 0.1% (w/v)으로 투입하여 반응시킨 경우 시간에 따른 총질소 함량의 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 총질소함량은 배양반응이 진행되는 동안 지속적으로 감소하였다. 혼합제 1의 경우 배양시작일로부터 14일 경과 시의 총질소함량은 초기치의 47.3%로 감소하였으며, Fig. 2에는 나타내지 않았으나 18일 경과 시의 총질소함량은 12.88 mg/L(S.E.±0.65)로 초기의 총질소량의 36.2%로 감소함을 보여주었다. 혼합제 2의 경우 총질소함량은 14일 경과 시 20.06 mg/L로 초기 총질소함량의 54.08%로 감소되었다. 총질소량이 감소되는 속

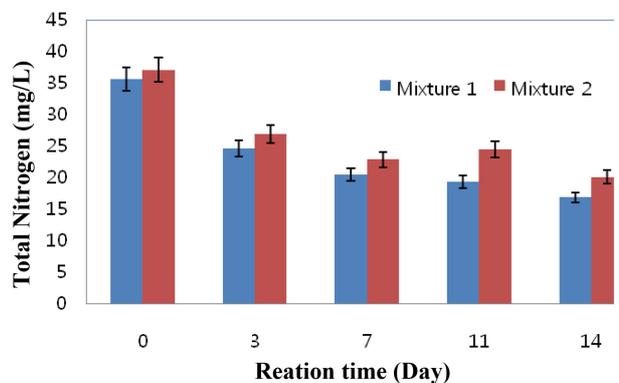


Fig. 2. Changes in total nitrogen content of the environmental waste water during cultivating microbial mixture 1 and 2. (Mixture 1 is composed of vegetable *Lactobacillus fermentum* and *Saccharomyces cerevisiae*. Mixture 2 is composed of vegetable *Lactobacillus fermentum*, *Saccharomyces cerevisiae*, and *Bacillus subtilis*. n≥3, n = number of treatment).

도는 V.L.F.와 S.C.의 혼합물인 혼합제 1이 V.L.F., S.C.,와 B.S.의 혼합물인 혼합제 2에 비하여 빠른 것을 알 수 있었다. 이 같은 미생물의 배양에 의한 오폐수에 존재하는 총질소함량 저하의 주된 원인은 미생물이 성장하는 과정에 필요한 영양원으로 질소를 사용함으로 오폐수에 존재하는 질소를 감소시키기 때문인 것으로 알려져 있다(Forster, 1985).

미생물의 성장에 따른 총인함량의 변화는 Fig. 3에 나타내었다. 실험에 사용된 두 종류의 혼합제 모두에서 총인의 함량은 미생물의 초기배양단계인 7일 경과 시 까지는 유의차 있게 감소하였으나 7일 이후 14일까지의 함량을 비교 시 11일의 경우 유의차있게 증가함을 보여주었으며 (p<0.05) 반면 7일과 14일의 결과를 비교 시 유의차가 없는 것으로 나타났다(p>0.05). 이 결과는 두 종류의 혼합제 모두 총인의 함량은 7일간의 배양기간 동안 최소치에 근접하게 도달됨을 알 수 있으며 그 이후에는 총인의 감소에 대한 기여도가 낮음을 알 수 있다. 총질소 함량의 저감에는

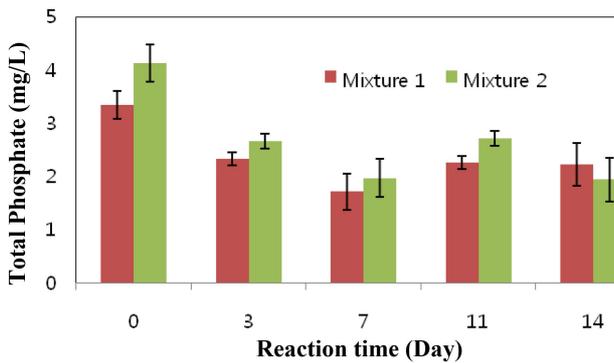


Fig. 3. Changes in total phosphate content of the environmental waste water during cultivating microbial mixture 1 and 2. (Mixture 1 is composed of vegetable *Lactobacillus fermentum* and *Saccharomyces cerevisiae*. Mixture 2 is composed of vegetable *Lactobacillus fermentum*, *Saccharomyces cerevisiae*, and *Bacillus subtilis*. $n \geq 3$, n = number of treatment).

혼합제 1이 보다 빠른 정화도를 나타내었으나, 총인함량의 경우 혼합제 1(VLF와 S.C.혼합물)에 의한 배양공정을 진행 시 14 일 경과 후 초기함량의 66.5%로 감소하였으며 혼합제2(VLF, S.C., B.S.의 혼합물)는 초기함량의 47.09%로 감소하였다. 이는 두 혼합제가 총인함량의 저감에 유의차 있게 작용하고 있으며($p < 0.05$), 이는 두 혼합제의 생물화학적 반응에 의한 총인의 감소효과는 B.S.를 첨가한 혼합제 2가 혼합제 1에 비하여 효과적임을 나타내었다.

본 연구에서는 산업용 정화시설을 거쳐 정화된 방류수의 총질소함량과 총인함량을 본 실험에서 사용된 미생물 혼합제에 의하여 저감된 총질소함량과 총인함량과 비교하였다. 본 연구에 사용된 동일한 오폐수시료를 춘천시 소재의 수질정화소에서 산업용 정화공정을 거쳐 방류한 방류수의 경우 총질소함량은 11.06 mg/L이었으며 총인의 함량은 0.93 mg/L이었다. 본 연구에서 저감된 총질소함량의 경우 하천과 호수의 오염도가 증가하는 계절인 5-6 월의 수온과 유사한 범위와 산소공급환경에서 미생물혼합제를 실제 오폐수에 투입하여 배양실험을 진행한 결과이다. 총질소함량의 18 일 경과 시의 저감결과(12.88 mg/L, 초기함량의36.21%)는 산업용 정화시설을 거쳐 충분히 정화되어 방류되는 방류수의 결과에 매우 근접한 값을 지니고 있다. 이는 본 실험에 사용된 혼합제 1의 경우 하천과 호수에 투입 시 자연스럽게 하천과 호수의 오염도를 줄일 수 있음을 시사하고 있다. 반면 총인의 경우 정화처리시설을 거친 방류수의 경우 그 함량이 0.93 mg/L로 본 실험에서 얻은 저감된 총인함량과 비교 시 매우 낮은 값을 나타내고 있다. 이는 본 연구에서 사용하는 미생물의 배양에 의한 저감화 이외에 추가적인 정화공정이 총인함량을 단시간에 낮추는데 필요함을 시사한다. 본 연구에서는 B.S.가 포함된 혼합제가 총인의 감소속도에 보다 기여할 수 있었으며, 이는 미생물 혼합제의 배합 시 저감을 목표로 하는 물질에 따라 미

생물의 종류와 혼합제 내에서의 그 양을 조절하는 최적화 과정에 대한 연구가 매우 필요함을 시사한다.

반응속도 모델링

본 실험에 사용된 배양기와 배양조건은 실제 하천과 호수에서 미생물 혼합제를 투입 시에 발생할 수 있는 환경과 비교 시 매우 유사한 환경이다. 단 실제 하천과 호수에 투입 시 수심에 따른 온도차이(Park and Park, 2002)와 오염도에 의한 차이에 의한 미생물의 배양속도의 차이와 확산과 유체의 흐름에 따른 정화 정도의 차이는 존재할 수 있다(O'Connor, 1967). 일정한 공간에서 완전 혼합이라는 조건을 만들어 미생물을 배양하였으므로 미생물의 성장과 이에 따른 탈산소 기작은 1 차 화학반응식에 의한 Phelps식(Buchbinder and Phelps, 1941, Lee et al., 2009)으로 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{dC_A}{dt} = -K_1 C_A \quad (1)$$

C_A : concentration of a chemical used in microorganism's growth at a time t

식(1)은 1차 화학반응식으로 식(1)의 상미분방정식의 해는 특정 반응 시간에 미생물의 성장에 따른 특정 화합물의 감소(또는 증가)를 나타낼 수 있다. 식(1)의 해는 아래와 같이 표현된다.

$$C_A = C_0 \exp^{-K_1 t} \quad (2)$$

식(2)의 미지의 계수인 C_0 와 K_1 는 초기치와 특정 시간대에서의 실험치로서 이론적으로 도출이 가능하나, 실제적으로 실험상의 오차가 존재하므로 이론을 통하여 도출한 식

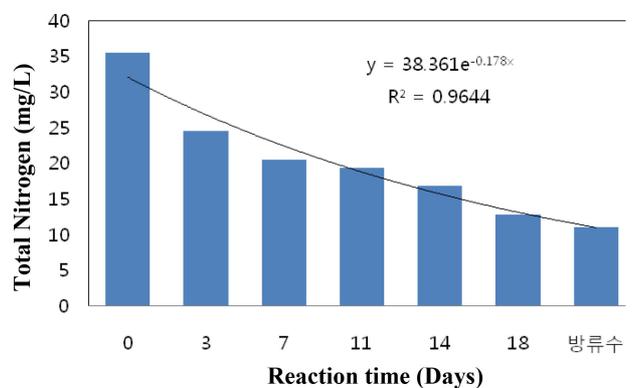


Fig. 4. Result of curve fitting from changes of total nitrogen content using mixture 1. (Mixture 1 is composed of vegetable *Lactobacillus fermentum* and *Saccharomyces cerevisiae*. Mixture 2 is composed of vegetable *Lactobacillus fermentum*, *Saccharomyces cerevisiae*, and *Bacillus subtilis*. $n \geq 3$, n = number of treatment).

이 현상을 가장 잘 적합시켰다고 볼 수는 없다. 이 같은 최적의 모델링결과를 도출하기 위하여 최소자승법을 통한 곡선적합법을 적용시키는 것이 필요하다. 식(2)를 통하여 도출된 반응상수인 K_1 은 특정 미생물의 성장에 의한 정화 반응을 나타내는 고유한 값으로 미생물의 성장에 따라 변화되는 지표물질의 농도를 측정함으로써 실험적으로 얻을 수 있는 값이다. 이 같은 특정 미생물의 반응상수값은 확산계수와 유체의 점도등과 함께 하천과 호수에서 정화제로서 미생물이 반응을 할 경우 그 정화도를 simulation하는데 반드시 필요한 인자이다(Fischer 1968; Fischer et al., 1979).

혼합제 1에 의한 총질소함량의 변화를 측정하여 혼합제 1이 실제오염환경에 투입할 경우에 완전혼합을 가정할 시 발생할 수 있는 반응상수를 곡선적합에 의하여 도출하였다(Fig. 4). Fig. 4에서 보이는 것과 같이 Phelps식에 의한 곡선적합은 R^2 값이 0.964로서 우수한 적합도를 지니고 있으며, 반응상수(K_1)값으로 0.178 day^{-1} 을 나타내고 있다. 또한 반응이 보다 진행 시 산업적 정화시설을 거쳐 방류되는 방류수의 총질소함량에 약 4일의 추가 배양을 통하여 도달할 수 있음을 알 수 있다.

요 약

본 연구에서는 강원도 춘천지역에서 발생하는 환경 오폐수를 시료로 하여 미생물을 혼합하여 제조한 수질정화제를 실제 하천과 호수의 오염환경과 유사한 배양기내에서 생물학적반응을 시켜 오염물질의 정화정도를 측정하고 평가하였다. 사용된 미생물은 식물성 유산균(*vegetable Lactobacillus fermentum*), 효모(*Saccharomyces cerevisiae*)와 고초균(*Bacillus subtilis*)이다. 두 가지의 미생물혼합제를 투입하여 정화정도를 실험하였다. 실제 하천에 투입하여 정화되는 과정과 유사하게 반응을 시키고자 반응 온도는 $21(\pm 3)^\circ\text{C}$ 로 하였으며 완전교반을 진행하였다. 사용한 시료의 오폐수의 오염도와 미생물에 의한 정화정도를 평가하기 위하여 총질소 함량과 총인 함량을 측정하였다. V.L.F.와 S.C.의 혼합물로 구성된 혼합제의 경우 총질소함량을 감소시키는데 매우 효과적임을 보여주었으며, V.L.F., S.C.,와 B.S.로 구성된 혼합제의 경우 그 총인의 함량을 저감화하는데 효과적임을 알 수 있었다. 본 실험에서 얻어진 실험 데이터를 통하여 V.L.F.와 S.C.의 혼합제가 오폐수의 정화반응에서 나타나는 반응상수값을 도출하였으며 그 값은 0.178 day^{-1} 이었다. 본 연구의 결과를 바탕으로 저감화하고자 하는 성분에 따라 미생물의

종류와 그 혼합비를 조절하는 최적화과정이 필수적임을 알 수 있었으며 또한 곡선적합으로 도출한 반응상수값은 미생물을 이용하여 호수와 하천의 정화정도를 simulation함에 필요한 실험인자로서 응용이 가능하게 되었다.

감사의 글

본 연구는 2009년 중소기업 산학협력 지원사업(37188)에 의해 이루어진 결과의 일부이며, 이에 감사드립니다. 실험용 오폐수의 제공과 분석에 도움을 주신 춘천시 수질관리소의 수질관리팀에게 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

- Buchbinder L, Phelps EB. 1941. Studies on microorganism in simulated room environments. II. The survival rates of streptococci in the dark. J. Bact. 42: 345-351.
- Byun YR. 2002. Modern Food Engineering, Ji-gu publishing, Seoul, Korea, p. 218.
- Fischer HB, List EJ, Koh RCY, Imberger J, Brooks, NH. 1979. Mixing in Inland and Coastal Waters, Academic, New York, USA.
- Fischer HB. 1968. Dispersion predictions in natural streams. J. San. Engr. Div. ASCE. 94: 927-944.
- Forster CF. 1985. Biotechnology and Waste Water Treatment, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Halttunen T, Salminen S, Tahvonon R. 2007. Rapid removal of lead and cadmium from water by specific lactic acid bacteria, Int. J. Food Microbiol. 114: 30-35.
- Horan NJ, 1990. Biological Waste water Treatment Systems: Theory and Operation. Wiley and Sons, Inc. New York, USA.
- Lee KS, Lee SK, Lee MH, Lee BK, Cho WH, Jung SS, Jang JI, Baik KI. 2009. Water Treatment Engineering, Hyungseol Publishing, Seoul, Korea, p. 88.
- Nazaroff WW, Alvarez-Cohen L. 2001. Environmental Engineering Science, Wiley & Sons, Inc., New York, USA. p. 280.
- O'Connors DJ. 1967. The temporal and spatial distribution of dissolved oxygen in streams. Water Resour. Res. 3: 65-79.
- Park OR, Park SS. 2002. A time variable modeling study of vertical temperature profiles in the Okjung Lake. Korean J. Limnol. 35: 79-91.
- Salehizadeh H, Shojahsdati SA. 2001. Extracellular biopolymeric flocculants: Recent trends and biotechnological importance. Biotechnol. Adv. 19: 371-386.
- Seo SN, Kim YT, Park CH. 2005. Purification technology in closed water like a reservoir and pond using oxygen solubilized device and standardized microorganism culture system, J. Korean Soc. Water Qual. 21: 118-124.