

## 환경오염문제 해결을 위한 식물병원성 미생물의 이용

염 규 진

한국환경정책 평가연구원

### 서 언

미생물을 이용하여 오염물질을 분해하거나 유해성 중금속 등을 미생물 세포내로 흡수 혹은 흡착시켜서 처리하는 방법에 대한 연구는 지난 10여년 간 꾸준히 진행되어 왔으며 그 연구 결과에 근거하여 오염물질 처리기술의 발전도 가능하게 되었다. 특히 미생물을 이용한 생물학적 처리방법은 화학적, 물리적 처리방식과 비교시 낮은 유지비용과 적은 독성 부산물 생성 등의 장점으로 발전 가능성이 요즈음 더욱 강조되고 있다.

최근에는 새로운 균주의 발견과 개발 그리고 처리기술의 발달로 과거에는 생물학적으로 처리가 어려웠던 유독성, 난분해성 물질과 중금속 오염환경 등에 미생물을 이용한 처리가 가능하게 되었다. 이와 같이 오염물질 처리에 이용되는 미생물들을 보면 주로 오염지 토양이나 폐수에서 분리해낸 미생물이거나 토양 혹은 근권 미생물, 부패균 등으로 오염이 심한 환경에서 생존능력이 높거나 자연계 내의 복잡한 구조물(예, 리그닌, 셀룰로오즈)을 분해하는 능력이 높은 세균이나 곰팡이 들이다. 특히 이 중에는 식물체 뿌리에 병을 일으키거나 죽은 식물체 표면에서 흔히 볼 수 있는 부패균이나 기생균 혹은 세균들이 많다. 이와 같은 식물병원성 미생물들이 오염물질 제거에 널리 이용되는 이유는 인·축에 병원성이 없으며 고분자 화학물질 분해능력이 뛰어나기 때문이다.

그러므로 이 글에서는 식물병원성 미생물 중 최근에 오염물질 제거에 활용되고 있는 사례를 소개하고자 한다.

### 목재 흰색곰팡이균의 독성 난분해성 물질 처리에 이용

백색부후균의 일종인 *Phanerochaete chrysosporium*은 담자균류로 숲에 자라고 있는 나무의 표면이나 자른 후 저장중인 목재의 표면에 하얗게 스폰지 형태로 자라서 나무를 썩게하여 목재의 상품적 가치를 떨어지게 한다.

*P. chrysosporium*은 나무표면에 자라면서 나무표면의 고분자 구조물인 lignin과 hemicellulose를 분해하여 탄소원인 glucose를 얻게 되는데 이를 위하여 곰팡이 세포 밖으로 lignin 분해효소들을 분비한다(Koenigs, Kirk et al.).

이와 같은 lignin 분해효소들은 Free-radical 기작에 의해서 비특이적으로 반응하여 3차 구조의

고분자 화합물인 lignin을 분해하게 된다. 따라서 인간이 인공적으로 합성한, lignin과 비교하였을 때 매우 단순한 구조인, 거의 모든 화학물질들을 쉽게 분해할 수 있는 것이다. DDT와 같은 농약을 비롯해서 TNT, Dioxine, PCB 등과 같은 chlorophenol계 화학물질까지 현재 환경문제를 야기하고 있는 거의 모든 화학물질들을 분해하는 것으로 보고되고 있으며 다른 종류의 미생물들이 처리하기 어려운 난분해성, 독성오염물질 처리에 이용되고 있다(Yum and Peirce, Bumpus et al.).

이와 비슷한 분해기작으로 난분해성물질 분해능력이 높은 목재부후균으로는 *P. sordida*가 난분해성물질인 Polychlorinated Dibenzofurans을 분해하는 것으로 보고되어 있으며(Takada et al.), *Pleurotus pulmonarius*는 제초제인 Atrazine을 분해하며(Masaphy et al.), *P. laevis*는 PAH를 분해한다고 보고되어 있다(Bogan and Lamar). 그 외에도 많은 종류의 목재·흰썩음병과 갈색썩음병원균들이 난분해성 물질들을 분해한다는 연구보고가 계속해서 발표되고 있다.

### 목재·흰썩음병원균의 중금속 처리에 이용

위에서 언급한 난분해성 물질 처리연구에 널리 이용되었던 *Phanerochaete chrysosporium*은 다른 측면에서의 이용 가능성이 최근에 밝혀지고 있다.

살아있는 목재·흰썩음병원균의 균사체는 구리( $Cu^{2+}$ )를 세포내로 다량 흡수하는데 이온교환수지보다 약 3배 이상의 흡수효과를 보인다고 보고되었다(Sing and Yu). 따라서 중금속 오염이 심한 공장폐수나 토양처리에서의 이용 가능성을 높이고 있다. 특히 균사체에 흡수·농축된 구리는 재농축 과정을 거쳐 재이용될 수 있어서 재자원화 기술로도 개발이 가능하다.

### 땅콩썩음병원균의 소각재 처리에 이용

땅콩에 Crown rot 병을 일으키는 불완전 균류인 *Aspergillus niger*는 citric, oxalic, gluconic acid 등을 생성해서 세포밖으로 분비하는데 이 중에서 citric acid가 소각재내의 중금속 처리에 이용될 수 있다.

전세계적으로 쓰레기 처리시 주로 소각의 방법을 이용하며 우리나라에서도 음식물 쓰레기 등을 대부분 소각으로 처분하고 있는데 그 주된 이유는 소각으로 쓰레기 부피를 90% 이상 줄일 수 있으며 쓰레기내의 유기물을 파괴하여 매립 후 매립지안에서의 화학반응을 줄일 수 있기 때문이다. 하지만 소각잔재물인 소각재내에는 고농도의 중금속이 다량으로 함유되어 있어서 특수한 처리(Cement 등을 이용한 고형화)를 거친 후 소각재를 매립하여야만 하는 실정이다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 Bosshard 등은 최근에 *Aspergillus niger*가 분비하는 citric acid를 이용하여 소각재내의 중금속을 용출시켜 소각재 처리를 용이하게 하고 용출된 중금속등이 재이용될 수 있도록 하고 있다. 그 원리를 간단히 살펴 보면 *Aspergillus niger*에 의해서 세포밖으로 분비되는 citric acid가 주변 pH를 낮추어서 중금속의 용해도를 높여 용출을 촉진시키는 것이다.

이와 같이 이용될 수 있는 또다른 곰팡이로는 농업지대 토양에서 쉽게 발견되는 *Penicillium sim-*

*plicissimum*이 보고되어 있다(Vachon et al.)

## 염색폐수 처리에 이용되는 식물병원성 미생물

국내에서 1990년에 염과 박에 의해서 처음 보고된 바 있는 콩잎에 질은 갈색반점을 형성하는 콩잎 점무늬병인 *Myrothecium roridum*은 Orange-II, 10B, RS 등의 염색물질을 각각 38.3%, 91.5%, 81.1% 까지 분해할 수 있어서 섬유공장 폐수처리에 이용된다(Shen et al.).

또한 커피나 차나무에 뿌리썩음병을 일으키는 병원성 진균인 *Ganoderma applanatum*과 콩과식물의 뿌리썩음병원균인 *G. lucidum*도 염색폐수 처리에 이용될 수 있다고 보고되었다(Shen et al.). 이와 같은 염색물질 분해기작은 병원성과 밀접한 관련이 있는 Cellulose 분해효소 분비에 의한 것으로 해석되고 있다.

담배에 frenching을 일으키는 식물병원성 세균인 *Bacillus cereus*도 Acid Red Dye를 분해하는 능력을 갖고 있는 것으로 보고되었다(Groff and Kim).

섬유업에서 널리 사용되어온 Azo Dyes는 발암물질로 알려져 있는데 양파·세균성비늘줄기썩음병원 세균인 *Pseudomonas cepacia*에 의해서 분해되어 진다(Idaka et al.). 그 분해기작에는 oxidative metabolism이 중요한 역할을 하는 것으로 여겨지고 있으나 아직 정확한 기작은 밝혀지지 않고 있다. *Pseudomonas cepacia*는 Azo dye외에도 *p*-Aminoazobenzene, Acid Red 88, Direct Blue 6 등을 분해 처리하는데 효과적으로 이용되고 있다(Idaka et al.).

## 맺음말

앞에서 살펴본 바와 같이 식물병원성 미생물들은 각각의 병원성과 관련된 기작들이 환경오염물질 처리에 효과적으로 이용되어지고 있다. 이와 같은 식물병원성 미생물들의 생리나 자연계내에서의 생태적 특성은 식물병리학자에 의해서 주로 연구되어 왔으나 최근에 이러한 식물병원성 미생물의 특성을 환경오염문제 해결에 적용하여 유용한 생물자원으로의 개발과 활용은 다른 분야의 연구자들에 의해서 주로 이루어지고 있는 실정이다.

그러나 식물병원성 미생물의 생리나 특성에 대한 기본 연구는 식물병리학의 기초 연구분야의 하나이며 이를 통한 환경분야에의 활용과 다른 연구분야 연구자들과의 공동연구에서 식물병리학자의 역할은 매우 중요하다 하겠다. 특히 점점 오염문제가 심각해져가는 농업환경의 개선과 환경오염등에 의하여 훼손된 생태계 복원에 있어서 식물병리학자의 역할이 확대되기를 기대하는 바이다.

## 참고문헌

1. Bogan, B. W., and Lamar, R. T. 1996. Polycyclic aromatic hydrocarbon-degrading capabilities of *P. laevis* HHB-1625 and its extracellular ligninolytic enzymes. *Appl. Environ. Mi-*

- crob.* **62**(5): 1597-1603.
2. Bosshord, P. P., Bachofen, R., and Brand, H. 1996. Metal leaching of flyash from municipal waste incineration by *Aspergillus niger*. *Environ. Sci. Technol.* **30**: 3066-3070.
  3. Bumpus, J. A, Tien, M., Wright, D, and Aust, S. D. 1985. Oxidation of persistent environmental pollutants by a white rot fungus. *Science* **228**: 1434-1436.
  4. Idaka, E., Ogawa, Y., Horitsu, H. 1987. *Bull Environ. Contam. Toxicol.* **39**: 100-113.
  5. Kirk, T. K., Croan, S, Tien, M, Murtagh, K. E., and Farrell, R. L 1985. Production of multiple ligninases by *P. chrysosporium* and effect of selected growth condition and use of a mutant strain. *Enzyme Microbial Technol* **8**: 27-32.
  6. Koenigs, J. W. 1972. Production of extracellular hydrogen peroxide and peroxidase by wood-rotting fungi. *Phytopath* **62**:100-110.
  7. Masaphy, S., Henis, Y., and Levanon, D. 1996. Manganese-enhanced biotransformation of atrazine by the white-rot fungus *Pleurotus pulmonarius* and its correlation with oxidation activity. *Appl. Environ. Microb.* **62**(10): 3587-3593.
  8. Shen, H. P. 1992. Microbial decolorization of wastewater. U.S. Patent No. 5091089.
  9. Sing, C., and Yu, J. 1998. Copper adsorption and removal from water by living mycelium of white-rot fungus *P. chrysosporium*. *Wat. Res.* **32**(9): 2746-2752.
  10. Takada, S., Nakamura, M., Matsueda, T., Kondo, R., and Sakai, K. 1996. Degradation of polychlorinated dibenzo- $\rho$ -dioxins and polychlorinated dibenzofurans by the white rot fungus *P. sordida* YK-624. *Appl. Environ. Microb.* **62**(12): 4323-4328.
  11. Vachon, P., Tyagi, R. D., Auclair, J. C., and Wilkinson, K. J. 1994. *Environ. Sci. Technol.* **28**: 26-30.
  12. Yum, K. J., and Peirce, J. J. 1998. Continuous-flow wood chip reactor for biodegradation of 2,4-DCP, *ASCE Journal of Environmental Engineering* **124**(2): 184-190.
  13. 염규진, 박은우 1990. *Myrothecium roridum* Tode ex Fries에 의한 콩잎점무늬병. 한국식물병리학회지 **6**(4): 313-317.