

回轉原板 反應槽에 固定化시킨 *Aspergillus sojae* B-10에 依한 反應性 染料의 脫色

류병호 · 김동석 · 진승록 · 정중순* · 원용돈**

경성대학교 공과대학 식품공학과, *부산시 장림하수처리관리소

**부산공업대학교

Biodegradation of Reactive Dyes Using Multistage Rotating Disc Contactor Immobilized by *Aspergillus sojae* B-10

Beung Ho Ryu, Dong Suk Kim, Syeung Rok Jin,
Jong Soon Jung* and Yong Don Won**

Department of Food Science and Biotechnology Kyungshung University

*Jang Lim Sewage Treatment Plant, Pusan

**Pusan National University of Technology

ABSTRACT

Dyes are released into the environment as industrial wastewater. Dyes are considered to be a pollution problem because of the wide spread into environment with a variety of colors. Continuous biodegradation of reactive dyes such as Rifacion Red H-3EB, Rifazol Blue BT, Rifacion Yellow P-4G and Rifacion Brown RT were demonstrated using multistage rotating disc contactor immobilized by *Aspergillus sojae* B-10. *Aspergillus sojae* B-10 was cultivated the optimal medium containing 2.0% glucose, 0.08% NaNO₃, 0.1% KH₂PO₄ and 0.5% MgSO₄·7H₂O, pH 5 at 32°C. Mycelium of *Aspergillus sojae* B-10 were stuck to the rotating disc for 10 days until steady state. For continuous biodegradation of reactive dyes by using rotating disc contactor, it was most effective biodegradation in the medium containing 1,000 ppm each dyes at the medium feeding rate of 20 ml per hour. Under the conditions biodegradation of each dyes on 2, 4 and 6 days were 20~50%, 75% and 96%, respectively. Therefore, practical application of reactive dyes were carried out at the feeding rate of 20 ml/h as synthetic wastewater containing 500 ppm of mixture reactive dyes. It was found the highest levels of 94% biodegradation during 20 days.

Keywords: Biodegradation, reactive dyes, rotating disc contactor, *Aspergillus sojae* B-10

I. 서 론

염료는 화학 합성품으로 다른 유해한 화학물질과 마찬가지로 처리되지 않고 폐수로 방류되면 염료가 가지고 있는 특성상 미량이라도 독성이 강하여 인체에 미치는 영향이 크며 눈으로 보아도 알 수 있는 환경오염을 심화시키는 오염원이 될 수 있다.^{1~4)} 현재 합성염료는 3,500여종이 산업적으로 사용되고 있으며 염료를 생산 및 사용하는 산업장에서는 염료의 폐수처리가 큰 문제점으로 제기되고 있다.^{5~7)} 염색폐수는 응집제에 의한 침전, 염료의 흡착법 및

산화제에 의한 탈색 등으로 처리되어 왔으나, 이러한 화학적인 방법은 효율이 낮고 처리비용이 고가이며 처리효과에 한계가 있어 염색폐수의 처리를 위한 새로운 기술개발이 요구된다.

그러므로 요즘 이러한 화학적 폐수처리의 한계를 극복하기 위하여 미생물에 의한 생물학적인 염색폐수의 처리에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 염색폐수의 생물학적 처리는 리그닌 분해 및 종이 공장 폐수의 탈색에 *Phanerochaete chrysosporium*^{8~10)} 및 *Shizophyllum commune*¹¹⁾으로 효율적으로 폐수를 처리할 수 있다고 보고하였다. 또한 azo 색소의 탈

색은 *Pseudomonas* sp.¹²⁾ 및 *Aspergillus sojae* B-10¹³⁾으로 효과적으로 처리할 수 있다고 보고한 바 있다. 그리고 수용성 염료는 *Achromobacter*, *Bacillus*, *Rhodococcus* 및 *Pleisiomonas* 등으로 처리하였을 때 탈색효과가 우수하다고 하였다.¹⁴⁾ 이와 같이 염료의 탈색력이 우수한 균주를 이용하여 효과적으로 염료 폐수를 처리하려면 미생물의 기능을 최대한 활용할 수 있는 장치가 요구된다.

미생물에 의한 생물학적인 처리는 살수여상법, 생물막 여과법 및 유동층 생물막법 등이 있으나 오염원이 염료인 경우 이러한 방법보다는 회전원판법(Rotating Disc Contactor, RDC)으로 탈색하면 효과적이다.^{15~18)}

회전원판법(RDC)은 원판에 미생물을 부착시켜 생물막을 형성시키고 그 원판을 회전시켜 오염물질을 연속적으로 처리할 수 있는 폐수의 처리 방법이다.^{19~21)} 회전원판법은 다른 처리법에 비하여 반응조에 산소공급을 위한 동력이 필요없으므로 에너지 소비가 적게 들고 각 단마다 채류시간에 따라 미생물이 생육의 속도가 다르며 미생물의 순환장치가 필요없고 미생물의 침전 상태도 양호하여 슬러지도 적게 생겨 그 처리비용이 절약되고,^{18,22,23)} 유기화학물질의 제거 효율이 높은 것으로 알려져 있다.^{15,16,18)}

따라서 본 연구에서는 염료의 탈색 능력이 좋은 *Aspergillus sojae* B-10으로 반응성 염료를 효과적으로 탈색하기 위하여 이 균체를 회전원판 반응조에 부착한 다음 연속적으로 탈색을 시도하였다.

II. 재료 및 실험방법

1. 균주와 배지

본 연구에 사용된 균주는 *Aspergillus sojae* B-10을 사용하였다.¹³⁾ 본 실험에 사용된 배지는 20.0 g의 glucose, 2.0 g의 NaNO₃, 1.0 g KH₂PO₄ 및 5.0 g의 MgSO₄·7H₂O를 증류수 1l에 녹이고 pH 5.0으로 조절한 후 멸균하여 사용하였다.

2. 사용된 색소

본 실험에서는 Rifacion Red H-E3B(No. 0376), Rifazol Blue BT(No. 8395), Rifacion Yellow P-4G(No. 959) 및 Rifacion Brown RT Conc.(No. 10497)을 Rifa Industrial Co.(Seoul, Korea)에서 구입하여 사용하였다.

3. 균주의 탈색 측정

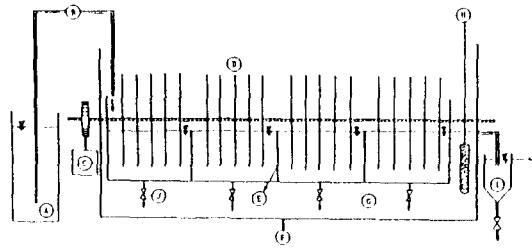


Fig. 1. Schematic diagram of rotating disc contactor. (A): Storage tank, (B): Peristaltic pump, (C): Reduction motor, (D): Disc, (E): Baffle, (F): Contactor, (G): Water Bath, (H): Heater, (I): Clarifier, (J): Drain Valve.

Table 1. Specification of rotating disc contactor

Items	RUN 1
Number of disc per stage	4
Disc diameter	27.6 cm
Disc thickness	0.2 cm
Disc surface area per stage	0.2453 m ²
Submerged area	40%
Liquid volume	7.4 l
Disc rotating speed	9 rpm
Peripheral velocity	6.8 m/min

균주의 염료에 대한 탈색 최적 조건은 pH 3~11 온도 20~40°C와 탄소원 및 질소원에 의하여 탈색을 조사하였다. 탈색은 시간별로 반응액을 채취하여 millipore filter(0.45 μm)로 여과한 후 Spectrophotometer로 흡광도를 측정하였다.

처음 염료의 O.D.를 최종 분해된 염료의 O.D.를 뺀 값을 백분율로 나타내었다.

4. 회전원판 반응조의 조건

회전원판 반응조는 Fig. 1에 나타낸 바와 같다. 반응조는 5 mm 두께의 acryl로 제작하였으며 원판 disc는 베이크라이트를 사용하였고 각 반응조는 4 단으로 구획하였다. 각단은 2 mm 아크릴로 baffle을 설치하여서 분리하였다. 회전원판 반응조의 설계는¹⁵⁾ 단위 면적당 용적비(G값)는 1~2단에서 5.0, 3~4단에서 3.0을 유지하였으며 회전원판 상호 간격은 1~2단에서 1.5 cm, 3~4에서 1.0 cm가 되도록 하였다.^{23,24)} 반응조의 벽 및 기저부는 회전원판과의 간격을 원판자름의 10%로 유지하도록 설계하였으며, 반응조의 바닥은 원판에서 탈리된 미생물이 축적되지 않도록 하기 위해 반원형으로 하였고, 잉여균체를 제거할 수 있도록 drain value를 설치

Table 2. Composition of synthetic wastewater

Constituent	Concentration (mg/l)
Glucose	300 mg
K ₂ HPO ₄	10.85 mg
KH ₂ PO ₄	5.80 mg
Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O	22.30 mg
MgSO ₄ ·7H ₂ O	11.25 mg
FeCl ₂ ·6H ₂ O	0.125 mg
CaCl ₂	27.50 mg
(NH ₄) ₂ SO ₄	20.0 mg
Mixed dyes	500~1,000 ppm

하였다. 반응조내의 온도를 일정하게 유지하기 위하여 온도 자동 조절장치를 사용하였으며 수욕조 앞면에 순환펌프를 사용하여 수욕조내의 물이 잘 순환되도록 하였다. 기질의 주입량은 peristaltic pump로 조절하였다. 회전원판 반응조의 특성은 Table 1에 나타내었다.

5. 회전원판 반응조에 의한 연속적 탈색

회전원판 반응조에 의한 각종 색소의 연속적 탈색은 1l 삼각 플라스크에서 배양한 균액을 미리 멸균시킨 회전원판 반응조에 넣고 30°C에서 10일 동안 균체가 원판에 형성하도록 원판을 회전시켜 균체를 원판에 부착시켰다. 이때 균체가 원판에 steady state로 형성되면 염료 폐수를 peristaltic pump로 일정량씩 연속적으로 공급하면서 연속적 탈색을 시도하였다. 이때 염료 폐수의 주입량은 시간당 100 ml씩 주입하여 하루에 2,400 ml가 처리되도록 조절하였다. 이때의 체류시간은 약 2일 정도였다. 여기서는 염료의 농도 부하에 대한 검토를 하는 방법으로 유량을 높여 체류시간을 바꾸는 방법과 폐수속의 염료 농도를 높이는 방법이 있다. 본 연구에서는 후자의 방법을 선택하여 유입 속도를 일정하게 하고 액 주입이 염료의 농도를 높이는 방법을 선택하였다. 초기에는 폐수에 각종 염료를 100 ppm씩 가하고 점차 시간의 경과에 따라 폐수의 농도를 200, 300, 400, 500 ppm으로 높여 유입농도와 유출농도의 염료의 색조의 변화를 측정하였다.

6. 염색공장의 폐수에 대한 응용실험

실제 염색 공장 폐수에 대한 응용 가능성을 검토하기 위하여 합성폐수에 각종 염료를 각각 1,000 ppm씩 넣은 후 분해정도를 검토하였다. 폐수의 조성은 Table 2와 같다. 한편 균체를 배양한 후 원심 분리하여 배양액을 제거시키고 균체를 10배로 희석

한 염료 폐액을 가하고 진탕하면서 염료의 탈색정도를 spectrophotometer로 측정하였다. 이때의 염료 흡광도는 Rifazol Red H-E3B(적색)은 524 nm, Rifazol blue BT(청색)은 664 nm 및 625 nm, Rifacion Yellow(황색)은 407 nm 그리고 Rifacion Brown RT(갈색)은 348 nm 및 402 nm에서 측정하였다.

7. 균체의 측정

배양액의 균체의 측정은 Toyo paper No. 2로 여과한 후 여과지를 건조시켜 무게를 측정하였다.

8. 균체막의 두께와 밀도

균체 채취기구(1.5×2 cm)를 사용하여 원판 표면에서 가장 표준이 될만한 곳을 택하여 균체막의 두께가 steady state에 도달했을 때 일정 면적의 균체(1×1 cm)을 긁어 내어 미리 5 ml의 증류수를 채운 10 ml 눈금 실린더에 넣고 부피를 측정한 후 부피를 면적으로 나누어 균체막의 두께를 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 회전원판 반응조에 의한 탈색조건

Aspergillus sojae B-10 균체의 회전 원판의 균체막의 부착은 회전원판 반응조의 원판에 *Aspergillus sojae* B-10을 부착하여 균체막(film)을 형성시키기 위하여 먼저 1l 삼각 플라스크에서 *Aspergillus sojae* B-10을 접종하여 32°C에서 3일간 배양한 후 이 배양액을 회전원판 반응조에 주입하면서 균체막을 형성시켰다. 회전원판 반응조에서 염료가 잘 분해되려면 원판에 균체가 일정하게 부착되어 균체막을 형성해야 한다. 즉 기질(염료)의 분해율은 미생물막의 두께가 steady state(active thickness)가 되어야 효과적으로 염료를 탈색시킬 수 있다. 본 실험에서 steady state 상태를 알아보기 위하여 *Aspergillus sojae* B-10을 부착이 잘된 배양시작 8일 이후부터 20일동안 균체막을 측정된 결과 평균적으로 180 μm이었다.

미생물 막은 기질의 부하, 미생물의 증식단계, 기질의 유속에 따라 달라지며 또한 미생물 막의 두께가 400 μm 이상일 때 준 정상상태(quasi-steady state)로 기질 제거가 안정상태를 유지한다고 하였다.^{15,16)} 또 미생물 막의 두께가 약 300 μm에서는 기질 제거율에 변화가 없고, 이는 고속 유속과 고농도의 기질에서도 적당하였다고 하였다.^{15~17)} 이러한 보고는 본 실험에서 약간의 차이는 있으나 이는 미생물의

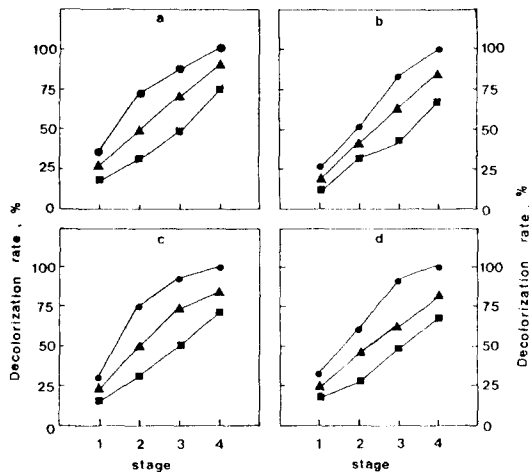


Fig. 2. Each dyes degradation on the feeding rate of 10 ml/h using rotating disc contactor immobilized by mycelium of *Aspergillus sojae* B-10. a: Rifacion Red H-E3B; b: Rifazol Blue BT; c: Rifacion Yellow; d: Rifacion Brown RT; ●-○: 500 ppm, ▲-△: 1,000 ppm, ■-□: 1,500 ppm.

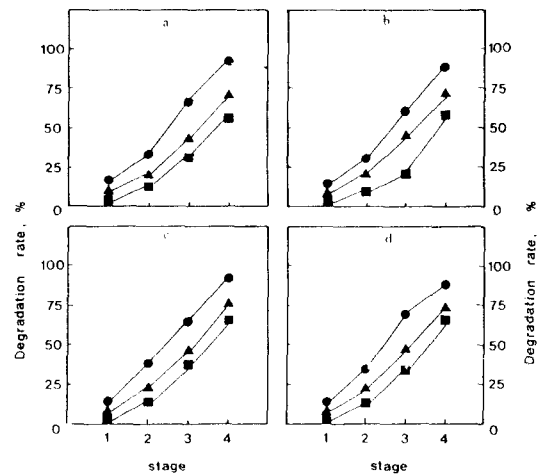


Fig. 4. Each dyes degradation on the feeding rate of 10 ml/h using rotating disc contactor immobilized by mycelium of *Aspergillus sojae* B-10 Dyes. a: Rifacion Red H-E3B; b: Rifazol Blue BT; c: Rifacion Yellow; d: Rifacion Brown RT; ●-○: 500 ppm, ▲-△: 1,000 ppm, ■-□: 1,500 ppm.

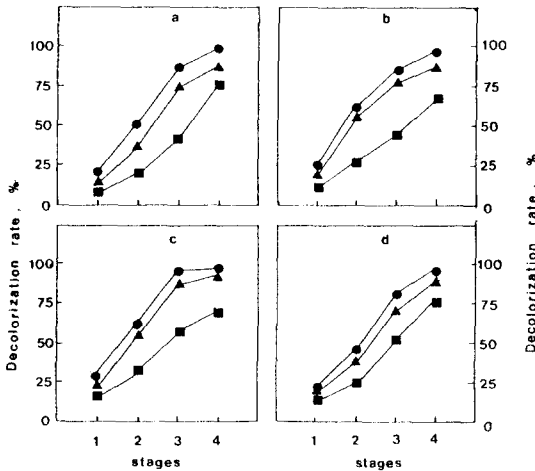


Fig. 3. Each dyes degradation on the feeding rate of 20 ml/h using rotating disc contactor immobilized by mycelium of *Aspergillus sojae* B-10. a: Rifacion Red H-E3B; b: Rifazol Blue BT; c: Rifacion Yellow; d: Rifacion Brown RT; ●-○: 500 ppm, ▲-△: 1,000 ppm, ■-□: 1,500 ppm.

종류와 기질에 따라 다소 차이가 난다고 생각된다. 그러므로 본 실험에서는 균체막의 두께가 active thickness에 도달한 10일부터 염료의 탈색을 시도

하였다.

2. 회전원판 반응조의 각 단계(stage)에서의 분해율

반응성 염료를 연속적으로 탈색시키기 위하여 각종 염료의 농도와 주입량의 유속을 변화시키면서 4단으로 구성된 각 단계(stage)에서의 염료의 분해율을 측정하였다. 본 실험에서는 각종 염료의 농도를 500, 1,000 및 1,500 ppm으로 조절하고 염료를 첨가한 배양액은 각각 시간당 10, 20 및 30 ml의 유속으로 구분하여 주입하고 회전원판의 균체막이 steady state가 되는 10일부터 각종 염료를 측정할 결과는 Fig. 2, 3 및 4에 나타내었다.

각종 염료중 Rifacion H-E38(적색), Rifazol blue BT(청색), Rifacion yellow P-4G(황색) 및 Rifacion brown RT(갈색)는 탈색되는 경향은 모두 비슷하였다. Rifacion H-E38(적색)의 탈색률을 보면 시간당 10 ml의 유량으로 500 ppm 주입시 1단계에서는 35%의 탈색률을 나타내었으나, 2단계에서는 74%, 3단계에서는 90%였고 4단계를 통과한 후에는 거의 완전한 탈색률을 나타내고 있다.

염료 1,000 ppm의 주입시는 회전원판 4단계에서 93%의 탈색률을 나타내었으나 1,500 ppm의 색소를 주입시에는 4단계 통과한 후 75%의 탈색률을 나타내었다. Rifazol blue BT(청색)의 경우 500 ppm일 때 탈색률은 1단계에서 25%였으나 4단계에서는 완

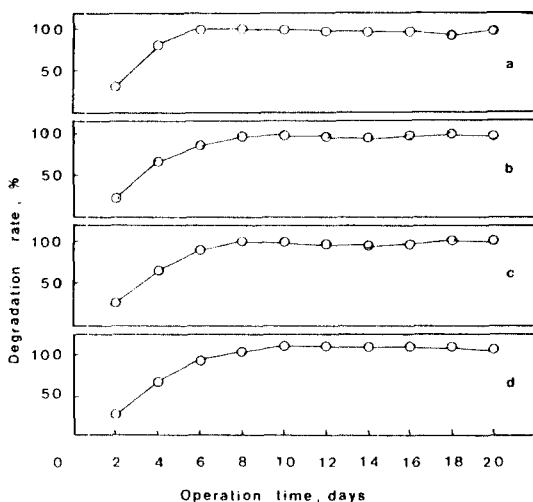


Fig. 5. Continuous degradation of each dyes by using rotating disc contactor immobilized by mycelium of *Aspergillus sojæ* B-10 A: Rifacion Red H-E3B, B: Rifazol Blue BT, C: Rifacion Yellow, D: Rifacion Brown RT. Feeding of each dyes (1,000 ppm) were carried out at the flow rate of 20 ml/min.

전히 탈색되었다. 1,000 ppm의 경우는 4단계에서도 80% 정도의 탈색률을 나타내고 있으며 1,500 ppm에서는 4단계에서 65%의 낮은 탈색률을 보이고 있다. Rifacion yellow(황색)의 경우 500 ppm 주입시에는 1단계에서 25%의 탈색시켰으나 4단계에서는 탈색이 거의 되었다. 그리고 갈색의 경우에는 Rifacion H-E38(적색), Rifazol blue BT(청색), Rifacion yellow P-4G(황색)의 염료와 마찬가지로 500 ppm에서 탈색이 가장 잘 되었으며 1,000 ppm, 1,500 ppm에서는 각 단계별 탈색률이 좋지 못하였다. 이러한 결과 각종 염료의 농도가 높아갈수록 탈색률이 떨어지는 것은 4단계를 통과할 때 분해할 수 있는 염료의 농도와 염료의 유속이 과부하가 걸린 것으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 회전원판 반응조의 연속적으로 염료를 분해할 때 각종 염료의 농도는 1,000 ppm 조절하여 주입 유속은 시간당 20 ml씩으로 하여 조절하여 실험하였다.

3. 회전원판 반응조에 의한 각종 염료의 연속적 분해

회전원판 반응조를 사용하여 각종 염료의 연속적 분해는 앞의 실험 결과에서 얻은 각종 염료를 1,000

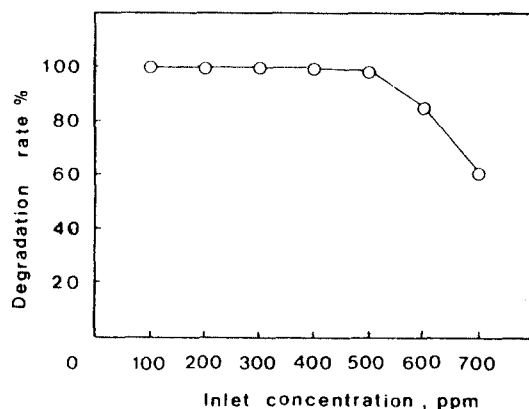


Fig. 6. Effects of inlet concentration of continuous degradation of mixed dyes of equal concentration of Rifacion Red H-E3B, Rifazol Blue BT, Rifacion Yellow, Rifacion Brown RT by using Rotating Disc Contactor at the flow rate of 20 ml per hour. The mixed dyes of Rifacion Red H-E3B, Rifazol Blue BT, Rifacion Yellow, Rifacion Brown RT were fed at the flow rate of 20 ml per hour during 4 days.

ppm으로 만들고 기질의 유속은 시간당 20 ml씩으로 조절하여 공급하면서 1단에서 4단을 통과하여 분해되어 나오는 유출액의 탈색률을 조사한 결과는 Fig. 5와 같다. 본 실험에 사용된 Rifacion H-E38(적색), Rifazol blue BT(청색), Rifacion yellow P-4G(황색)의 탈색률은 탈색 초기인 2일째에는 20~50%의 탈색률을 보였으나, 4일째에는 탈색률은 약 75%을 나타내었고, 6일째에는 약 90%의 탈색률을 나타내었으나, 8일째 부터는 계속하여 20일까지는 완전한 탈색률을 나타내었다.

4. 염료 합성 폐수의 탈색

본 실험에서 *Aspergillus sojæ* B-10의 탈색효과가 매우 우수하므로 실제 염료 폐수의 탈색 분해의 가능성을 검토하기 위하여 합성 폐수에 임의로 염료인 Rifacion H-E38(적색), Rifazol blue BT(청색), Rifacion yellow(황색) 및 Rifacion brown RT(갈색) 염료를 각각 300 ppm씩 되도록 첨가한 후 이를 회전원판 반응조에서 탈색을 시도하였다.

본 실험에서 합성 폐수에 용해시킨 각종 혼합 염료의 농도 부하에 대해 검토하기 위하여 같은 농도로 혼합한 Rifacion H-E38(적색), Rifazol blue BT(청색), Rifacion yellow P-4G(황색) 및 Rifacion brown RT(갈색)의 염료 화합물을 100, 200, 300, 400

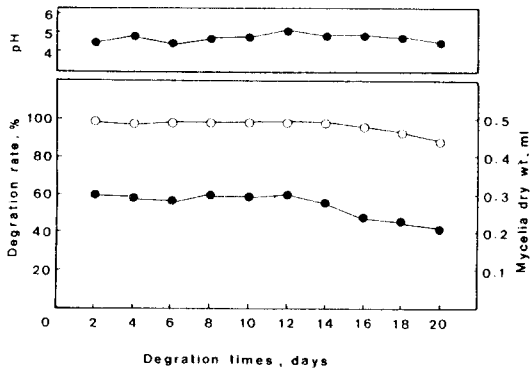


Fig. 7. Continuous degradation of mixed dyes (500 ppm) dissolving synthetic wastewater by using Rotating Disc Contactor filmed by mycelium of *Aspergillus sojae* B-10 at the flow rate of 20 ml per hour. Degradation rate: ○-○, Mycellia dry weight: ●-●. The mixed dyes (500 ppm) were dissolved in synthetic wastewater to equal concentration of Rifacion Red H-E3B, Rifazol Blue BT, Rifacion Yellow and Rifacion Brown RT.

및 500 ppm으로 조절하여 시간당 20 ml의 유속으로 주입하면서 농도별 제거율을 조사하였다.

Fig. 6에 나타낸 바와 같이 100 ppm에서 500 ppm까지는 혼합 염료가 100%에 가깝게 탈색되는 것을 볼 수 있었다. 그러나 혼합 염료의 농도가 600 ppm에서는 82%, 700 ppm에서는 60% 정도의 탈색률을 보였다.

이 결과에서 알 수 있듯이 합성 폐수에 녹인 혼합염료의 탈색은 500 ppm까지 100% 탈색이 가능할 것으로 보아 실제 현장에서는 염료 자체의 폐수의 농도가 300~600 ppm 정도이므로 본 실험에서 실시한 혼합 염료의 농도가 500 ppm으로 충분히 현장에서 이용이 가능한 농도라고 생각된다.

그러므로 *Aspergillus sojae* B-10으로 7일간 회전 원판에 피막을 형성시켜 혼합 염료 500 ppm을 시간당 20 ml의 유속으로 주입하면서 20일간 실시한 결과는 Fig. 과 같다.

혼합염료 500 ppm을 합성폐수에 녹여 20일간 탈색을 시도하여 16일째까지는 거의 100% 탈색률을 나타내었으며 18일째 94%, 20일째는 94%의 탈색률을 보여주고 있다. 이때의 균사체는 12일째까지는 ml당 0.3 mg이었고 14일째부터는 0.28 mg, 18일째는 0.25 mg, 그리고 20일째에는 0.23 mg이었다. 한편 pH는 탈색시작 2일부터 20일까지 큰 변화는 나타나지 않았으며 pH가 5~6 사이를 유지하였다.

이상의 결과로부터 본 연구에 사용된 *Aspergillus sojae* B-10은 현장에서 응용 가능하다고 판단된다.

결론

Aspergillus sojae B-10 균체를 회전원판 반응조에 고정화시켜 Rifacion Red H-3EB, Rifazol Blue BT, Rifacion Yellow P-4G 및 Rifacion Brown RT를 연속적으로 탈색을 시도하였다. 반응성 염료를 연속적으로 생분해시키기 위한 회전원판 반응조에 *Aspergillus sojae* B-10을 최적배지(2% glucose, 0.8% NaNO₃, 0.1% KH₂PO₄ and 0.5% MgSO₄·7H₂O, pH 5, 32°C)에 배양하면서 회전원판에 부착하기 시작하여 10일째가 되었을 때 안전한 상태가 되었다. 반응성 염료를 연속적으로 생분해하기 위하여 회전원판 반응조에서 반응성 염료의 탈색을 1,000 ppm으로 시간당 20 ml씩 주입하면서 탈색하였을 때 효율적이었으며 상기 조건에서 각종 색소의 연속 탈색시 2일째에는 20~50%, 4일째에는 75%의 탈색률을 나타내었으나 6일째부터는 약 96%의 탈색률을 나타내었다.

한편으로 실제 염료 폐수에서 적용하기 위하여 Rifacion Red H-3EB, Rifazol Blue BT, Rifacion Yellow P-4G 및 Rifacion Brown RT를 각각 혼합한 혼합 염료를 300 ppm씩 첨가한 후 *Aspergillus sojae* B-10을 회전원판 반응조에 고정화한 다음 연속적 탈색을 시도하였다. 그 결과 이들의 혼합염료 500 ppm을 합성 폐수에 녹여 20일간 탈색을 시도하여 94%의 탈색률을 나타내었다.

참고문헌

- 1) Anliker, R. : Ecotoxicology of dyestuffs joint effort by industry. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 3: 59-74, 1979.
- 2) Johnson, R. F., Zenhausern, A. and Zollinger, H. : Azo dyes, p. 868-910. In Mark, H. F., Macketta, J. J. Jr., Othmer, D. F. and Standen, A. (ed), Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology, 2nd ed., Vol. 2. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1978.
- 3) Brown, D., Hitz, H. R. and Schafer, L. : The assessment of the possible inhibitory effect of dyestuffs on aerobic wastewater bacteria: experience with a screening test. *Chemosphere* 10: 215-261, 1981.
- 4) Michaels, G. B. and Lewis, D. L. : Sorption and

- Toxicity of azo and triphenylmethane dyes to aquatic microbial populations. *Environ. Toxicol. Chem.* **4**: 45-50, 1985.
- 5) Meyer, U. : Biodegradation of synthetic organic colorants FEMS/Symp. 12, 371-385, 1981.
 - 6) Leisinger, T. and Brunner, W. : Poorly degradable substance, p. 497-498. In Rehm, H. S. and Reed, G. (ed), *Biotechnology, a comprehensive treatise in eight volumes, Microbial degradation*, VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, Federal Republic of Germany, 1986.
 - 7) Joice, M. C., Chol, E., Yamasaki, E., Ames, B. N. : Detection of carcinogens in the salmonella/microsome test: Assay of 300 chemicals. *Proc. Natl. Acad. Sci., USA* **72**, 5135-5139, 1975.
 - 8) Glenn, J. K. and Gold, M. H. : Decolorization of several polymeric dyes by the lignin-degrading Basidiomycete phanerochaete chrysosporium. *Appl. Environ. Microbiol.* **45**: 1741-1747, 1983.
 - 9) Bumpus, J. A. and Aust, S. D. : Biodegradation of environmental pollutants by the white rot fungus Phanerochaete chrysosporium: involvement of the lignin degrading system. *Bio Essays.* **6**: 166-170, 1983.
 - 10) Bumpus, J. A. and Brock, B. J. : Biodegradation of crystal violet by the white rot fungus *Phanerochaete chrysosporium*. *Appl. Environ. Microbiol.* **54**: 1143-1150, 1988.
 - 11) Belsare, D. K., and Prasad, D. Y. : Decolorization of effluent from the bagasse-based pulp mills by white-rot fungus, *Schizophyllum commune*", *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **28**, 301, 1988.
 - 12) Yatome, C., Ogawa, T., Koga, D. and Idaka, E. : Biodegradability of azo and tirphenylmethane dyes by *Pseudomonas* sp. 13NA. *J. Soc Dyers Colour.* **97**: 166-169, 1981.
 - 13) Ryu, B. H. and Weon, Y. D. : Decolorization of azo dyes by *Aspergillus sojae* B-10. *J. Microbiol. Biochem.*, **2**, 215-219, 1992.
 - 14) Groff, K. A., and Kim, B. R. : Textile wastes, *Journal Water Pollution Control Federation*, **61**(6), 872, 1989; Fukuzumi, T. : "Microbial decolorization and defoaming of pulping waste liquors", in *Lignin biodegradation: microbiology, chemistry and potential applications*, Vol. 11, CRC Press, 1980.
 - 15) Antonie, R. L. : Fixed biological surface wastewater treatment. CRC, press, 1976.
 - 16) Williamson, K. and McCarty, P. L. : A model of substrate utilization by bacterial films. *J. WPCF*, **48**, 1, 1976.
 - 17) Charackiis, W. G. : Fouling biofilm development: process analysis, *Biotech. Bioeng.* **23**, 1923-1960, 1981
 - 18) 류병호, 임복규, 김동석, 원용돈, 정수자 : 회전원판 반응조에 의한 *Pseudomonas puticla* H-5의 포름알데히드의 연속분해, *한국생물공학회지*, **8**, 42-48, 1993
 - 19) Antonie, R. L. : Rotating biological contactors for secondary wastewater treatment, CUIP/Wesner/CUIP WWT, Seminar south lake Tahoe stateline Nevada, pp. 27-48, 1976.
 - 20) 須藤隆一 : 微生物固定化による排水処理, 産業用水調査會, 1988.
 - 21) Shich, W. K. : "Mass transfer in a rotating biological contactor", *Water Research.* **16**, 1071-1074, 1982.
 - 22) Leslie, C. P. Jr. Grady and Henry, C. : *Biological wastewater treatment*, Marcel, Dekker Int, New York, 755, 1980.
 - 23) Ramalho, R. S. : "Introduction to Wastewater treatment process", Academic Press, 411, 1983.