

활성슬러지법을 이용한 화장품 공장 폐수 및 오수의 처리

이종철, 한창규, 조춘구
(승실대학교 화학공학과)

Treatment of cosmetic wastewater and sewage by activated sludge process

Jong-chul Lee, Chang-gew Han, Choon-ku Zhoh
(Dept. of chemical engineering, Soongsil Univ.)

요 약

화장품 폐수에 일정 농도의 오수를 혼합하여 활성 슬러지법에 의해 처리할 경우, 오수 중의 각종 영양원과 분변성 세균 등에 의해 폐수 중 유기물이 감소되는지의 여부를 COD를 측정하여 고찰해 보고 폐수와 오수의 혼합시 안정적으로 처리될 수 있는 최적 혼합비와 최적 폭기시간을 구한 결과, 적당량의 오수를 투입함으로써 폐수 처리에 필요한 폭기 시간을 4~8시간으로 단축시킬 수 있었다. 오수의 투입량이 증가될수록 COD 저감율이 커짐을 알 수 있었으며 본 실험 범위 안에서 폐수와 오수의 혼합 처리시 오수의 함량이 80% 정도일 때 가장 효과적이었다.

1. 서 론

일반적으로 산업체에서 배출되는 폐수는 물리화학적으로 처리하거나 생물학적으로 처리하게 되며 경우에 따라 이러한 방법들을 병행하여 처리한 후 방류하게된다. 물리화학적인 처리방법에는 침전, 흡착, 이온교환, 중화, 응집, 부상, 역삼투법 등이

이용되고 있으며 생물학적 처리에는 특정미생물을 이용하여 호기성 및 혐기성처리를 하는 방법 등이 있다.^(1,2) 생물학적 처리는 수역에 있어서 발생하는 유기성 폐수의 자정 작용을 이용한 것으로 미생물의 신진대사를 이용하여 일정규모의 구조물안에서 인위적으로 높은 효율을 얻을 수 있는 공정이다. 호기성처리에는 활성슬러지법, 생물막법, 안정화지법 등이 있으며, 혐기성처리에는 혐기성소화법, 혐기성라구운법 등이 있는데⁽¹⁾ 이들 중 활성슬러지법은 폐수에 대한 처리효율이 높기 때문에 많이 보급되어 있는 실정이다. 이 활성슬러지법은 1913년 영국의 Andern과 Lockett에 의해 처음 하수처리법으로 개발되었지만 그 후 약 30년 동안 괄목할 만한 변화는 없었고 1940년대 중반에 여러나라에서 본격적으로 연구되기 시작하였다. 이웃 일본에서도 1970년 이 처리법이 도입되었으며 급속히 보급된 것은 십 여년전부터이다. 우리나라에서는 1973년 서울과 부산에서 각각 분뇨 처리장에 이 방법이 도입된 것이 최초인 것으로 알려져있다.⁽²⁾

활성슬러지법은 용존산소의 존재하에 폐수에 포함되어 있는 유기물질을 영양원으로 하여 미생물의 혼합체를 인공적인 환경에서 연속 배양하고 이를 이용하여 오탁 유기물을 응집, 흡착, 산화, 분해 및 침전분리시켜 폐수를 정화하는 방법이다.^(2~4) 활성슬러지법과 같은 호기성 대사에서는 유기물이 미생물의 생체량 (biomass)으로 합성되는 비율이 혐기성 대사보다 높다. 또한 호기성 대사에서는 산소의 존재하에 미생물이 효소를 이용하여 폐수에 함유되어 있는 유기물을 호흡작용을 통하여 산화하고 분해하여 에너지를 얻으며 이러한 에너지의 일부를 이용하여 새로운 원형질을 합성하는 것으로 알려져있다. 이와 동시에 미생물은 자기 산화에 의하여 산화되어 분해되는 것으로 알려져 있다.⁽¹⁾ 이러한 계는 자연계에 존재하므로 하나의 생태계로 볼 수도 있다. 호기성 처리의 신진대사를 원활히 하기 위해서는 영향을 주는 여러인자들을 적절하게 조정할 필요가 있다. 활성슬러지법에서 미생물의 증식기능을 계속적으로 유지시키려면 세포질막을 통하여 외부로 부터 탄소원, 질소원, 무기염류 등과 같은 각종 영양을 흡수해야 한다. 미생물의 영양 요구는 매우 복잡하여 각기 특유한 영양원을 필요로 하며 미생물의 종류에 따라서는 성장인자를 요구하기도 한다. 독립영양의 미생물은 탄산가스, 탄산, 탄산염 등의 무기 탄소화합물을 탄소원으로 하고 이 탄소원은 세포구성의 에너지원으로 이용되며, 종속영양의 미생물은 유기 탄소원을 필요로 하게된다.^(2,5,6) 미생물의 증식에 필요한 암모늄염 및 질산염 등 염류의 종류 및 그 요구량에 관해서는 확실히 알려져 있지는 않으나 어떠한 미생물에도 P, Mg, Ca, K, S, Na 등이 필요하며 미생물의 종류에 따라서는 흔적 정도의 Fe, Co,

Cu, Mn 등이 요구되는 것으로 알려져 있다.⁽²⁾ 공장폐수는 대부분 오염물질의 농도가 높고 그 종류가 다양하며 유량과 농도, pH의 변화가 큰 것으로 알려져 있다.^(7,8) 생물학적 처리는 경우에 따라 중금속 및 독성물질 등의 전처리가 요구되기도 하지만 화장품 폐수의 경우에는 극미량의 중금속이 포함되어 있으므로 이들을 제거하기 위한 전처리는 요구되지 않는다. 그렇지만 유지방분의 함량이 많기 때문에 침전법 보다는 부상법에 의한 화학적 전처리가 요구되는 것으로 알려져 있다.⁽⁹⁾

일반적인 화학공장의 폐수처리에 관한 연구는 비교적 활발하게 진행되고 있으나 화장품 공장의 폐수처리에 관한 연구는 미흡한 것이 현실이다. 또한 국내 화장품 공장의 제품생산 계획 등의 특성때문에 폐수의 성상이 크게 다를 수 있으므로 미생물을 이용한 처리의 효율이 조건에 따라 큰 차이를 보일 것으로 기대된다.

본 연구에서는 활성슬러지법을 이용하여 국내 L화장품 공장 폐수 및 오수를 단독으로 처리하고 일정시간 간격으로 유기물의 농도를 측정하였으며, 같은 방법으로 폐수와 오수를 일정비율로 혼합한 후 처리하였을 때의 농도를 비교하였다. 유기물의 농도는 COD 망간법으로 측정하였으며, 실험결과를 토대로 L 화장품 사에 적합한 폐수의 처리방법 및 조건에 필요한 기초자료를 제공하는데 목적이 있다.

2. 실험

2.1. 시료 채취 방법

L사에서 배출된 원폐수를 화학처리한 후 7일에 2회씩 3개월간 COD를 측정한 결과 COD가 가장 높은 폐수는 1300mg/L였고, COD가 가장 낮은 경우는 601 mg/L였다. 시료는 원폐수를 화학처리한 가압부상조에서 10분 간격으로 20L씩 6회 채취하고 채취한 시료를 혼합하여 그 혼합액을 실험시료로 사용하였다. 오수는 정화조를 거친 분뇨와 식당, 샤워장 및 세면장에서 배출되는 하수의 혼합물을 사용하였다. 3개월간 오수의 COD를 측정한 결과 COD가 가장 높은 오수는 108mg/L였고, COD가 가장 낮은 경우는 48 mg/L이었다. 오수도 폐수와 같이 10분 간격으로 20L씩 6회 채취하여 그 혼합액을 실험시료로 사용하였다.

2.2. 시료 조제 방법

현재 L화장품 공장에서는 폐수와 오수의 양이 약 3:7의 부피비로 배출되고 있다. 본 실험에서는 차후 폐수량과 오수량의 증가로 배출 비율이 변동될 것을 예상하여 오수량을 전체 배출량의 80%까지 변화시켜 실험하였고, 시료 조제는 전체량에 대한 오수의 함량을 0%, 20%, 25%, 33%, 40%, 43%, 50%, 57%, 60%, 67%, 75%, 80%, 100%로 하였고 시료의 10%를 MLSS(mixed liquor suspended solid, 현탁고형물혼합물) 투입량으로 하였다.

2.3. 실험 장치 및 방법

본 실험에 사용된 반응조는 용량이 20L인 회분식 실험장치⁽²⁾로서 개략도를 Fig.1.에 나타내었다. 반응조의 공기주입은 D.K air pump (AC 220V, 60Hz, 2.5Kw)를 사용하였으며 수중온도는 L화장품 회사의 폐수 처리장 폭기조 온도와 동일한 21℃로 유지하였다. COD는 반응조의 폭기시간을 4시간 간격으로 24시간 동안 운전하면서 환경오염 공정시험법(수질분야)⁽¹⁰⁾에 의거하여 망간(Mn)법으로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 반응조의 조작인자

일반적으로 미생물을 이용한 생물학적 처리는 온도, pH, oxygen tension, 유량, 혼합강도, 중금속이온, 유기물 부하 등의 환경변화에 매우 민감한 것으로 알려져 있으며,⁽¹¹⁾ 이들은 sludge volume (SV) 및 sludge volume index (SVI), sludge age (SA), sludge retention time (SRT) 등과 함께 생물화학적 처리를 위한 주요 운전 조작 인자이다. 본 실험중 폭기조의 DO는 air pump를 사용하여 3.8 mg/L ~ 4.2 mg/L로 조절하였다. 실험시료의 pH는 오수가 6.8 ~ 6.9, 폐수가 6.8 ~ 7.2 였으며, 두 시료를 혼합하여 24시간 폭기한 결과 pH는 큰 변화를 보이지 않았다. 일반적으로 수온이 10℃ 높아지면 BOD 제거속도, 산소호흡속도, 활성 슬러지의 증식속도는 1.5~2.5배 증가하는 것으로 알려져 있다.^(1,12,13) 본 실험에서는 실험시료 채취 당시 폭기조의 온도가 21℃이었으므로 water bath를 21℃로 유지하면서 실험하였다. L사의 경우 MLSS는 동절기에 5000mg/L, 하절기에 3000mg/L 정도로 대체로 높게 유지했는데, 본 실험에서도 BOD-MLSS 부하가 폐수와 오수의 혼합비에 따라 달라지므로

MLSS를 임의의 농도로 일정량 투입하여 처리효율에 관계없이 처리상승 효과만을 알아보았다. COD가 601mg/L인 폐수와 COD가 48mg/L인 오수를 혼합 조제한 시료의 MLSS 투입농도는 3680mg/L였고, COD가 1300mg/L인 폐수와 COD가 78mg/L인 오수를 혼합 조제한 시료의 MLSS 투입농도는 6550mg/L였다. 미생물은 *Aspidisca*, *Zoogloea*, *Paramecium*, *Litonotus* 등이 나타났으며, 우점종은 *Paramecium*과 *Litonotus*였고 *Roteria*가 나타난 것으로 보아 DO가 높은 것으로 사료된다.

3.2. 폐수 및 오수의 단독처리

Fig.2.는 COD가 1300mg/L으로 최고값을 보인 폐수와 601mg/L로 최저값을 보인 폐수를 단독처리했을 때 각 시료들의 폭기시간에 따른 COD의 변화를 나타낸 그림이다. COD가 1300mg/L인 폐수를 폭기했을 경우에는 16시간까지 COD가 낮아지다가 그 이후에는 COD가 약간 증가하는 형태를 보이고 있으며 COD가 601mg/L인 폐수는 8시간 이후에 COD가 약간 증가함을 보인다.

Fig.3.은 COD가 76mg/L인 오수와 48mg/L인 오수를 각각 단독처리했을 때 각 시료들의 폭기시간에 따른 COD변화를 나타낸 그림이다. COD가 76mg/L인 오수는 24시간폭기할 때까지 감소함을 보이며 COD가 48mg/L인 오수는 4시간 폭기처리했을 때 급격히 감소하다가 8시간일 때 약간 상승하고 다시 감소함을 알 수 있다. 따라서 폭기시간이 길어질수록 정도의 차이는 있으나 COD는 점점 감소하다가 일정시간 이후에는 감소율이 현저히 둔화되는 현상이 나타남을 알 수 있다. Fig.2.와 Fig.3.을 통하여 비교적 고농도의 오·폐수 시료에서는 COD가 감소하다가 증가하는 시간이 늦게 나타나지만 저농도의 오·폐수에서는 정도의 차이는 있으나 4~8시간 정도에서 낮은 값을 나타낸다. 이와같이 폭기시간이 증가함에 따라 COD가 점점 감소하다가 일정시간 이후에 다시 약간 상승한 현상은 시료내의 유지방분, 계면활성제 등의 고분자성 유기물질이 COD 망간법으로는 나타나지 않다가 일정시간이 지남에 따라 고분자성 유기물질 등이 저분자성 유기물질로 전환되기 때문에 COD값이 약간 상승하게 된 것으로 판단된다.

3.3. 폐수와 오수의 혼합 비율에 따른 COD의 변화

Fig.4.는 COD가 1211mg/L인 폐수와 COD가 108mg/L인 오수를 혼합하여 조제한 시료를 21℃의 항온조에서 24시간 방치한 후 전체량에 대한 오수의 함량이 각각

20%, 50%, 80%인 시료의 배합 비율에 따른 환산치 COD와 측정치 COD를 비교하고 그에 따른 저감율을 나타낸 그림이다. Fig.4.에서 보는 바와 같이 폐수 함량 80%, 즉 오수 함량이 20%인 시료 A의 COD는 환산치가 990mg/L이었으나, 측정치가 782mg/L으로 환산치 COD에 대한 측정치 COD의 비율 (COD 저감율)이 21%이었으며, 오수의 함량이 50%인 B, 오수 함량이 80%인 C의 저감율은 각각 27%,46%였다. 시료 A,B,C를 비교할 때 오수의 함량이 증가할수록 저감율은 증가함을 알 수 있다. 이러한 결과를 통하여 혼합 시료의 오수 함량이 증가할수록 비교적 높은 저감 효과를 기대할 수 있다. 이와같이 폐수와 오수를 혼합할 경우에 환산치 COD보다 측정치 COD가 낮게 나타난 것은 오수의 분변성 세균들이 폐수의 영양성분을 선택적으로 취하여 폐수의 유기물을 분해하기 때문에 나타난 결과로 사료된다.

3.4. 폐수와 오수의 혼합처리

오수와 폐수를 일정 비율로 혼합하여 폭기시켰을 때 COD저감 효과를 알아 보았다. Fig.5.는 COD 1300mg/L 인 폐수와 COD 76mg/L인 오수를 혼합하여 폭기시간에 따른 COD의 변화를 조성 별로 나타낸 그림이다. 폭기시간이 4시간일 때 COD는 급격히 감소하다가 4시간이상 폭기시키면 정도의 차이는 있지만 완만하게 감소하는 현상이 나타나는 것으로 보아 처리시간은 4시간 정도가 보다 효과적이라고 할 수 있다. 또한 오수의 혼합비가 증가할수록 COD의 절대치가 낮아지며 전체량에 대한 오수의 함량이 50%이상일 때에는 4시간 이상 폭기시키면 COD는 거의 변하지 않음을 알 수 있다. Fig.6.은 COD가 601mg/L인 폐수를 COD가 48mg/L인 오수와 일정 비율로 혼합하여 제조한 시료의 폭기시간에 따른 COD값을 나타낸 그림이다. Fig.5.에서와 같이 모든 시료는 4시간 폭기할 경우 급격히 감소하다가 8시간 이후에는 큰 변화를 보이지 않으므로 최적 폭기시간은 4 ~ 8시간 정도라고 할 수 있다.

Fig.5.와 Fig.6.에 나타낸 실험결과를 토대로 시료의 조성에 따라 COD 변화를 폭기 시간 별로 Fig.8.에 나타내었다. 혼합시료의 오수 함량이 증가할수록 정도의 차이는 있으나 초기 4~8시간동안 COD의 감소가 두드러짐을 알 수 있다.

3.5. COD의 실험치와 이론치의 비교

Fig.4.를 통하여 폐수와 오수를 혼합하였을 때 기대되는 COD 저감효과를 확인하기 위하여 폭기시간에 따른 COD 저감효과를 혼합 비율별로 알아보았다. COD가 1300mg/L인 고농도의 폐수와 COD가 76mg/L인 고농도의 오수를 혼합한 시료에 대

한 실험결과를 Fig.8.에, 601mg/L인 저농도의 폐수와 COD가 48mg/L인 저농도의 오수를 혼합한 시료에 대한 실험결과를 Fig.9.에 각각 나타내었다. Fig.8.과 Fig.9.에 서와 같이 폭기시간이 4시간일 때 COD 저감율은 최고치를 보였으며 폭기시간이 길어질수록 COD 저감율은 점점 감소하다가 12~16 시간에서 다시 상승하고 그 이후 감소하는 비슷한 현상이 나타났다. Fig.8.과 Fig.9.를 비교하면 COD가 높은 고농도의 시료가COD가 낮은 시료보다 상대적으로 높은 저감효과를 보이고 있다. 또한 Fig.8.과 Fig.9.에서 오수의 함량이 증가할수록 저감효과가 커짐을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 혼합시료를 폭기 처리하지 않고 방치했을 때와 비슷한 결과이다.

4. 결 론

L사의 화장품 폐수에 오수를 혼합하여 활성슬러지법에 의한 폐수 처리시 전체량에 대한 오수의 함량을 0%, 20%, 25%, 33%, 40%, 43%, 50%, 57%, 60%, 67%, 75%, 80%, 100%로 하여 0~24 시간까지 폭기시킨 후 얻은 결과를 통하여 본 실험범위 안에서 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

1. 오수의 투입량이 많아질수록 COD 저감율이 증가되는 것으로 보아 처리상승효과가 높아짐을 알 수 있었다.
2. L사의 화장품 폐수와 오수의 배출비는 3:7로서 전량 혼합처리 하여도 COD 저감효과를 기대할 수 있으며 차후 오수량이 증가하여 2:8까지 증가하여도 COD 저감효과를 더욱 높일 수 있다.

Abstract

This study was undertaken to see the effect of the addition of residential sewage to cosmetic plant wastewater on the aeration time for COD stabilization of the mixture in a bioreactor. Various range of mixing-ratio samples were tested to

find the optimal mixing ratio. The combined result of measured COD and the minimum aeration time was desirable when the sewage portion was 80%. It was found that the addition of residential sewage to cosmetic plant wastewater itself reduced the measured COD of the mixture without any further treatment. And during the aeration COD was reduced with increasing the portion of the sewage.

These results show that the aeration time for COD stabilization can be reduced by pre-mixing of residential sewage and the cosmetic plant wastewater.

참 고 문 헌

1. 都留信也 編著, 金甲守, 金五植 譯, “環境微生物” 11-12, 17, 綠苑出版社 (1988).
2. 石田耕一 著, 吳英敏, 金鍾濟 譯, “活性슬러지法” 서문, 37, 43, 77, 134, 144, 東和技術 (1985).
3. 中鹽眞喜夫, “廢水活性汚泥處理” 146, 172-173, 恒星社厚生閣 (1976).
4. Ross E.McKinney “Microbiology for Sanitary Engineers” 213, McGraw-Hill Book Co. (1982).
5. 양상현, “수질공학” 39, 동화기술 (1990).
6. 吳英敏, 申錫奉, “水質管理” p152-156, 綠苑出版社 (1990).
7. AZAD, H.S “Industrial Wastewater Treatment Handbook”, 1-27, McGraw-Hill Book Co. (1976).
8. Eckenfelder, W.W.JR., and Adams, C.E.JR., “ Design and Economics of Joint Wastewater Treatment” 98, 153 (1972).
9. 최의소, 조광명 “환경공학” 289, 청문각 (1978).
10. 환경처, “환경오염공정시험법(수질분야)” (1986).
11. Nemerow,N.L., “Industrial Water Pollution”, 142 Addison Wesley Publishing Co. (1978).
12. 鄭勇, “廢水處理를 위한 活性汚泥處理法의 基本的 設計研究”, 延世大學校 環境公害研究所 (1988).
13. 金政炫, “水質管理” 443-460, 507-513, 東和技術 (1991).

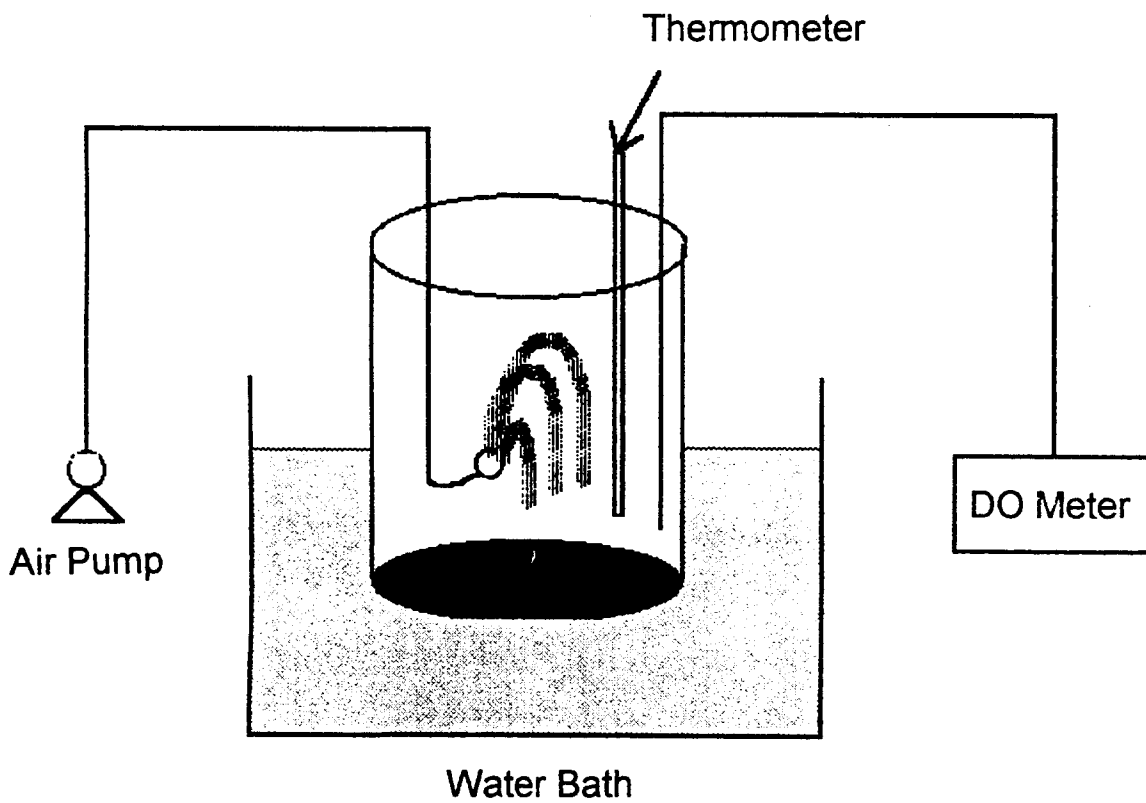


Figure 1. Schematic diagram of apparatus.

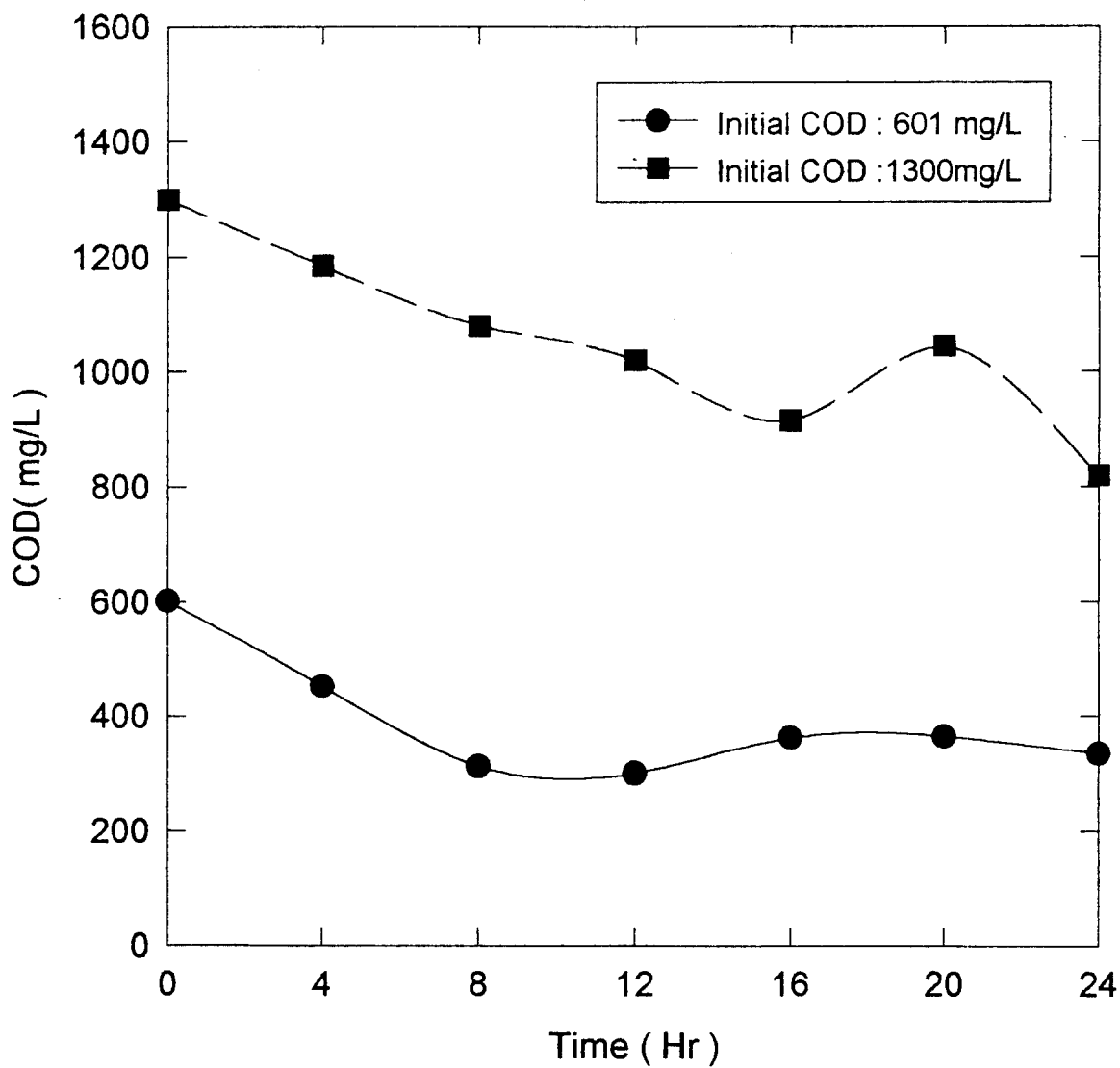


Figure 2. Aeration time vs. COD variation of wastewater.

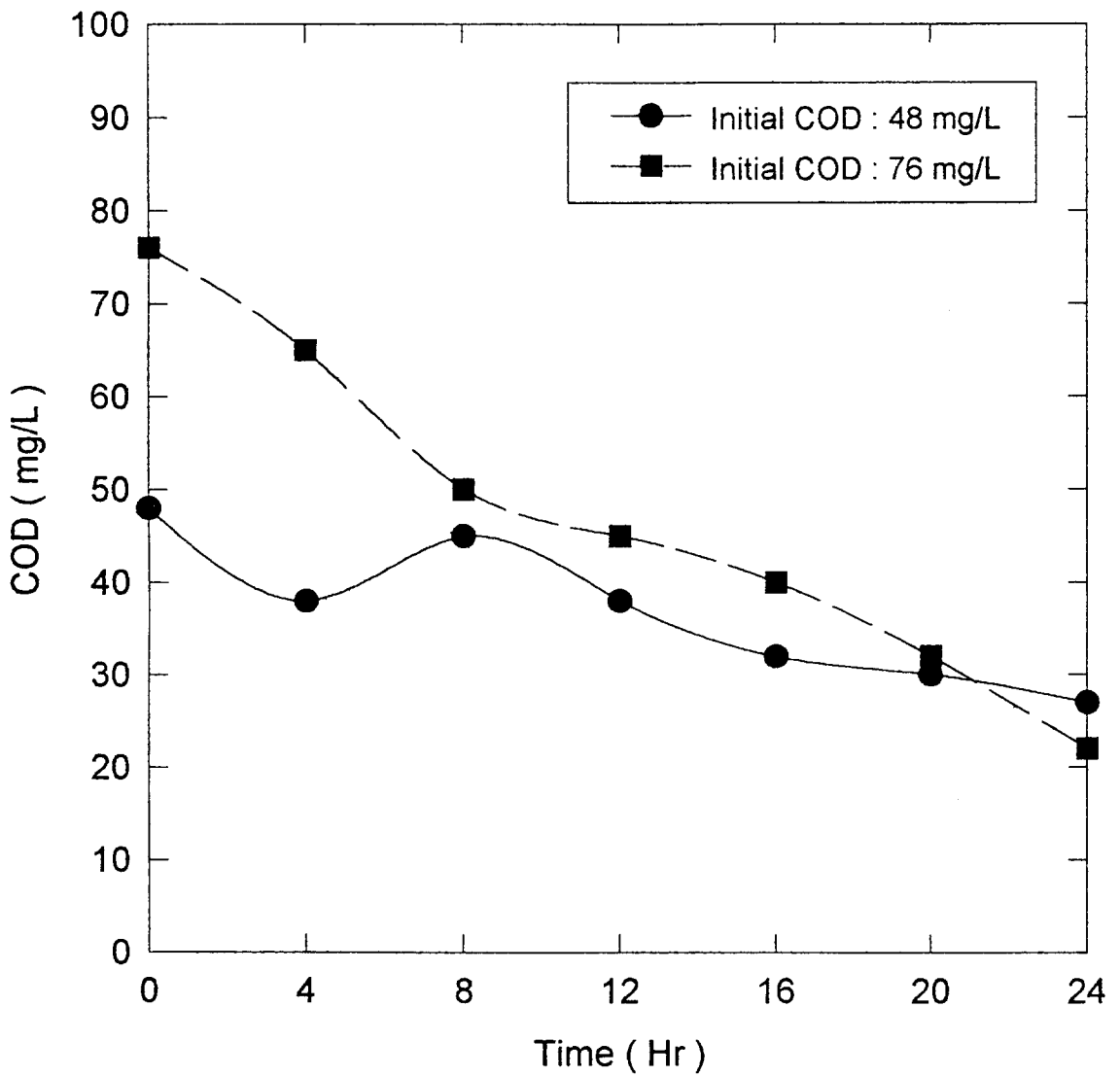


Figure 3. Aeration time vs. COD variation of sewage.

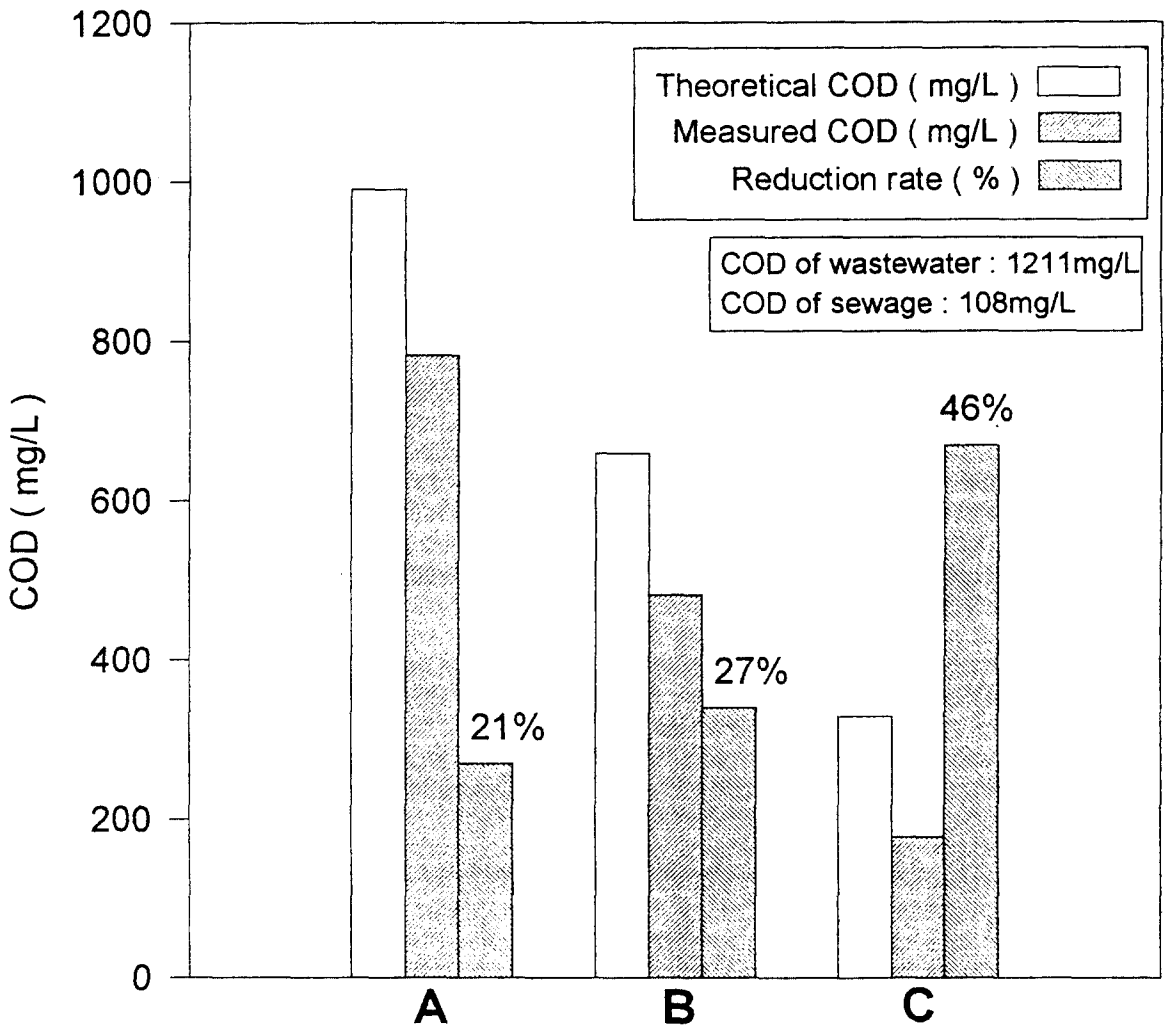


Figure 4. Theoretical COD vs. Measured COD.
 content of sewage (%, v/v) : A : 20, B : 50, C : 80 .

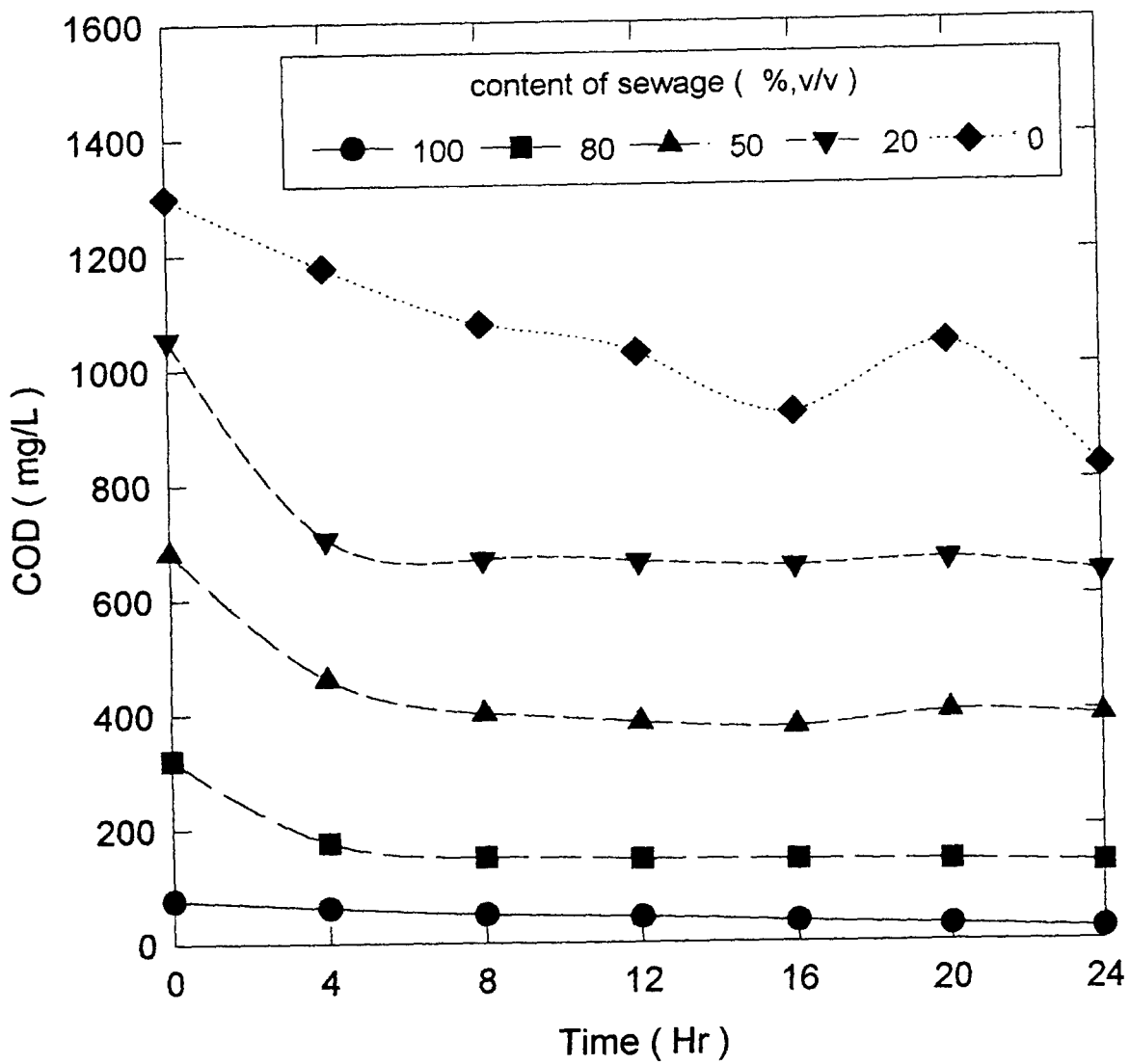


Figure 5. Aeration time vs. COD variation.

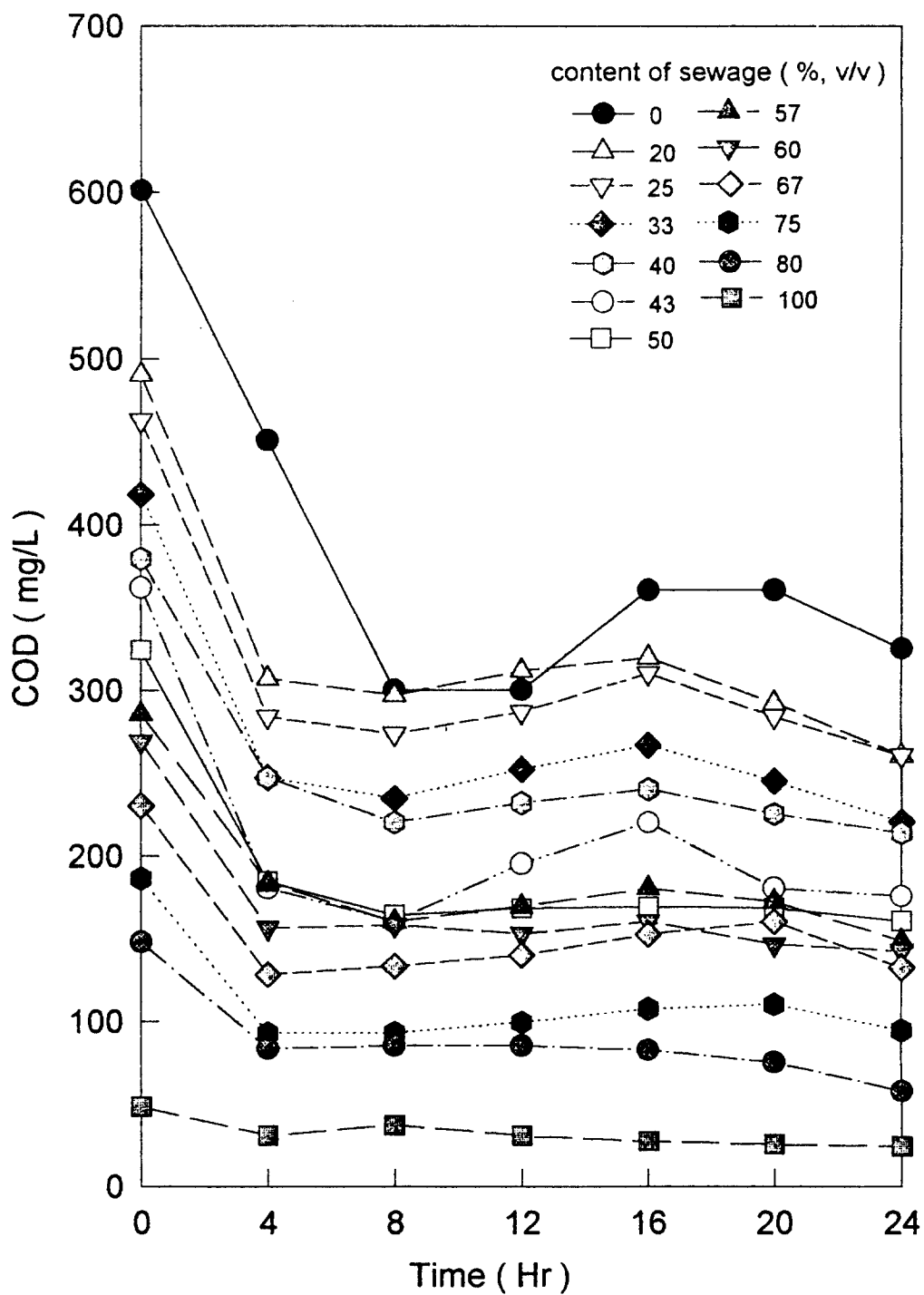


Figure 6. Aeration Time vs. COD variation.

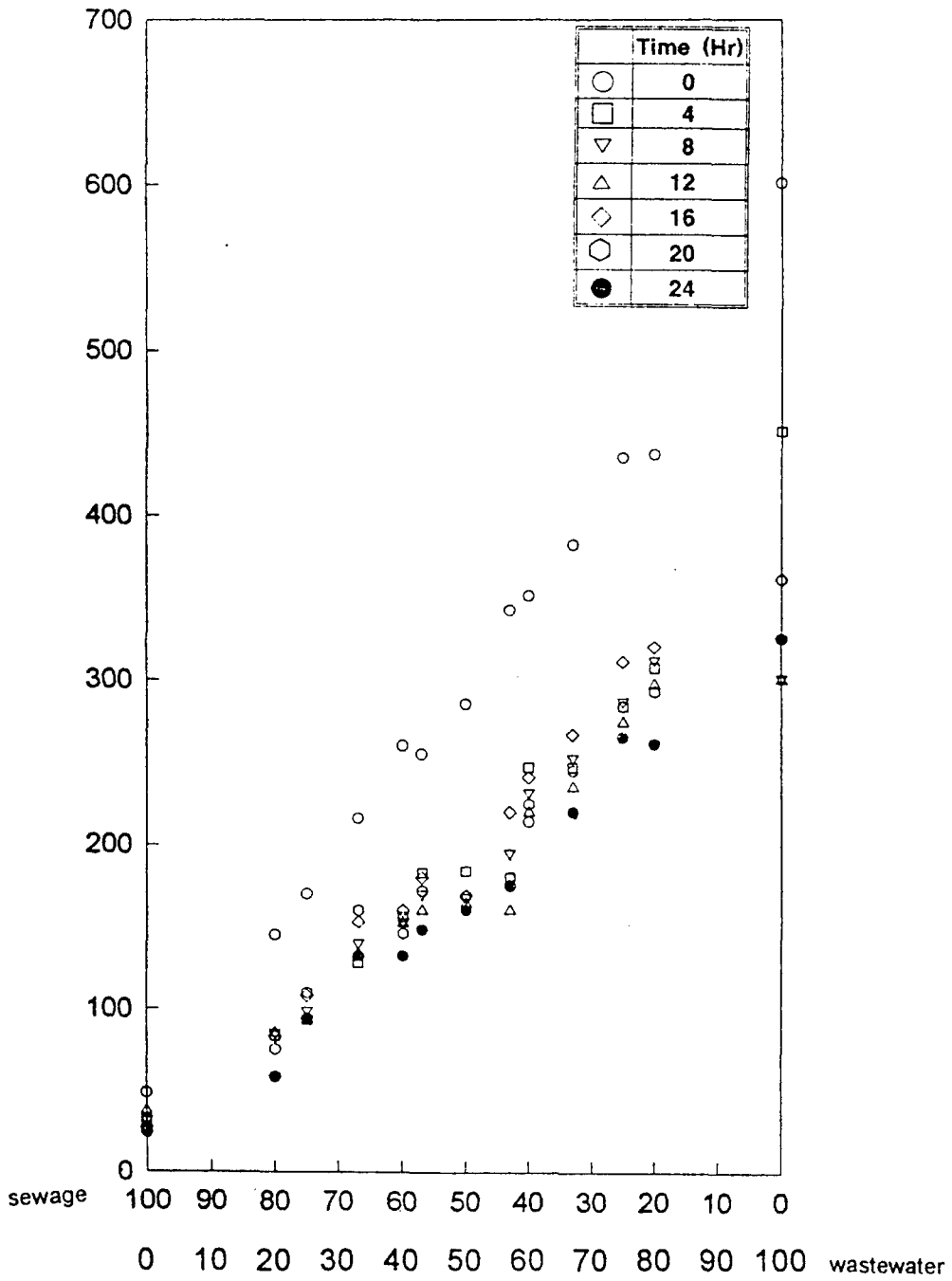


Figure 7. COD variation with composition ratio wastewater to sewage and aeration time.

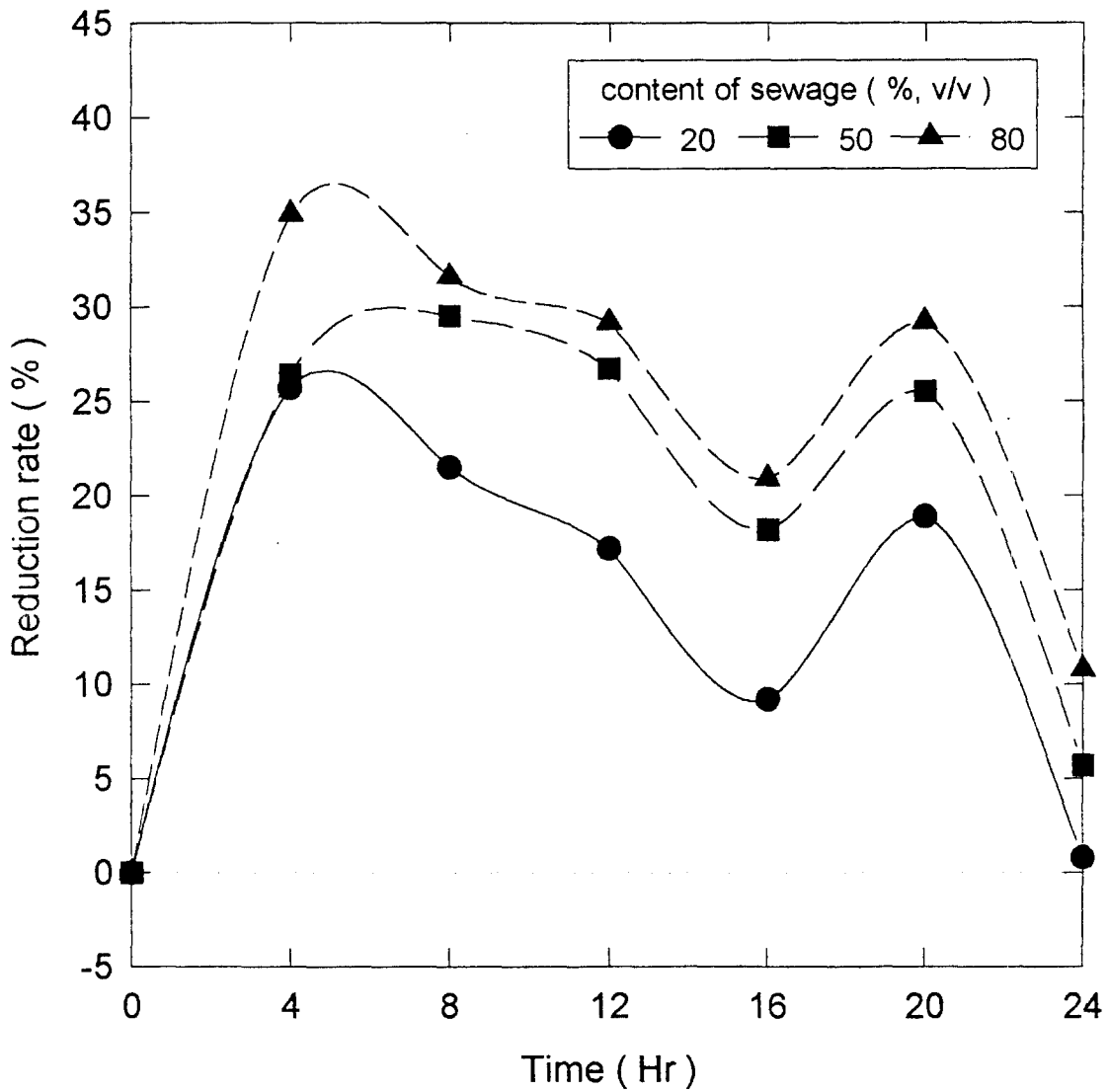


Figure 8. Reduction rate vs. aeration time with various sewage content.
 (Initial COD of wastewater : 1300 mg/L , Initial COD of sewage : 76 mg/L)

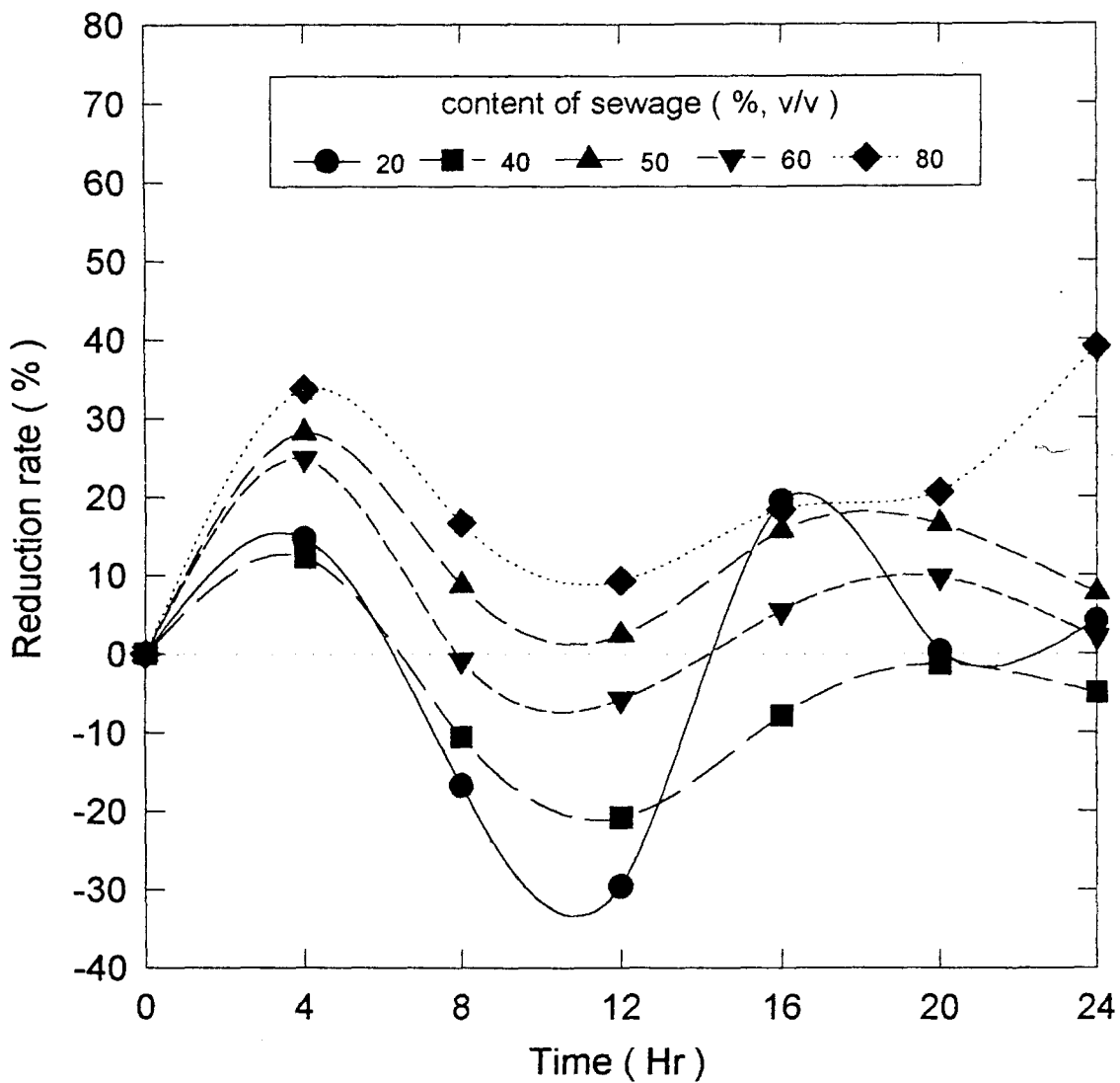


Figure 9. Reduction rate vs. aeration time with various sewage content.
 (Initial COD of wastewater : 601 mg/L , Initial COD of sewage : 48 mg/L)