

# 제지공정 용·폐수의 최적화 및 현장적용을 위한 공정모사 기법의 응용

김형진<sup>1)</sup> · 안정송<sup>1)</sup> · 유성호<sup>2)</sup>

1) 국민대학교, 2) (주)미래엔지니어링

## 1. 서 론

최근 물 부족 현상의 심화와 배출 폐수의 엄격한 monitoring에 의한 폐수 배출 기준의 강화에 따라서 용수 사용량 및 배출 오염 부하량을 절감 할 수 있는 방안 마련이 절실히 요구되고 있다. 따라서 용수 사용량을 절감하고, 재활용률을 극대화 하여 산업 환경 개선에 따른 용수 사용량 및 배출 오염 부하량을 절감 할 수 있는 경제적, 환경적 측면의 해결방안 제시가 필요하다. 용수 사용량과 배출 오염 부하량의 절감을 위해서는 공정 내 용수의 재투입 또는 공정 내 순환수의 적절한 활용 등이 필수적이며 이에 따른 공정 내 투입원에 대한 정량적인 data base의 구축과 mass balance의 확립을 통한 용·폐수의 최적화 방안이 신중히 고려되어야 한다. 본 실험에서는 제지 공정 용·폐수의 최적화 및 현장 적용을 위해 공정 모사 기법을 응용하여 제지 공장의 용·폐수 공정을 분석 하였으며, simulation에 의한 용·폐수의 mass balance 조절 및 최적화 방안을 시도하였다. 또한 용·폐수의 최적화 기법(BAT) 도입 전·후에 현장에서 생산된 제품의 물성과 백수의 수질을 평가하여 용·폐수 재순환에 의한 품질 변화 정도를 비교하였고, 이에 따라 공정모사 기법의 결과를 검증하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2. 1 공정 P&ID 분석

공정 내부의 설비 및 배관도면을 모두 포함하며 현재 운전 상황을 정량분석하기

위해 필수적으로 확인 되어야 한다. 공정 내에 배관라인의 변경이 있는 곳은 확인하여 수정하였고, 일일 평균 5m<sup>3</sup> 이하의 사용치는 흐름도 작성 라인에서 배제하였다.

## 2. 2 단위 공정 별 운전 현황 분석

현장에서의 입고 원료, 청수와 재활용수, 백수 순환 diagram이 상대적으로 복잡한 생산 지종을 대표 지종으로 선정하였다. 시료 채취 지점은 pulper, paper machine, WWTP, chemical로 나누어 선정하였고, 초출 후 48시간 이후에 백수 성상 및 지료 농도의 안정화가 이루어진 후 시료를 채취 하였다. 여기서 얻어진 data는 공정 모사 시 입력값으로 활용되었으며, 2회 이상 측정 후 평균값 또는 설계치와 근사한 값을 적용하였다.

## 2. 3 공정 모사 프로그램 활용

단위 공정 별 운전 현황 분석 결과에 따라 초지 공정 및 조성 공정에서 지료 농도의 현장 운전 조건을 확보하여 공정 모사 프로그램에 입력하였다. 공정 모사 프로그램의 신뢰도 상승과 검증 및 보정을 위해 실측, 초음파 유량계, 계산식을 사용하여 유량을 측정하였으며, 이를 통해 용·폐수량을 정량화 하였다. 정량화된 공정 모사 프로그램을 활용하여 공정 내에서 불필요한 용수 사용 및 폐수 발생의 원인이 되는 지점을 확인하였고 용수 라인을 변경함으로써 공정내의 용·폐수 최적화 방안을 제시 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

공정 모사 프로그램을 활용하여 현재 운전 현황을 simulation 하였고, simulation 결과를 바탕으로 공정상 폐수 발생의 원인 지점을 찾아냈다.

### 3. 1 Pulper 희석수

Simulation 분석 결과, pulper에 하천수와 폐수 처리장의 3차 처리수가 혼합되는 용수라인을 사용하고 있으며, pulper 희석수로 사용되고 남은 물량은 다시 폐수 처리장 집수조로 이송되도록 구성되어 있었다. 하지만, 대표지종 생산 시 유입되는 원료의 양을 감안 한다면 별도로 폐수 처리장의 3차 처리수가 혼합 될 필요가 없다. 따라서

Fig 1과 같이 폐수 처리장 3차 처리수가 혼합되는 용수라인을 삭제하고 하천수만을 pulper 희석수로 사용하면서 약 1670m<sup>3</sup>에 해당하는 양질의 월류수를 보존 할 수 있었다. 또한 이러한 결과로 폐수 처리장으로의 유입량이 감소하기 때문에 경제적·환경적 측면에서 약품 절감 효과를 가져 올 수 있었다.

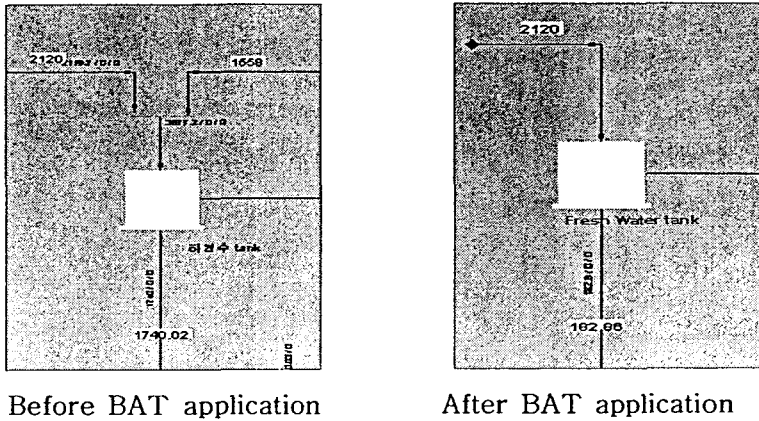
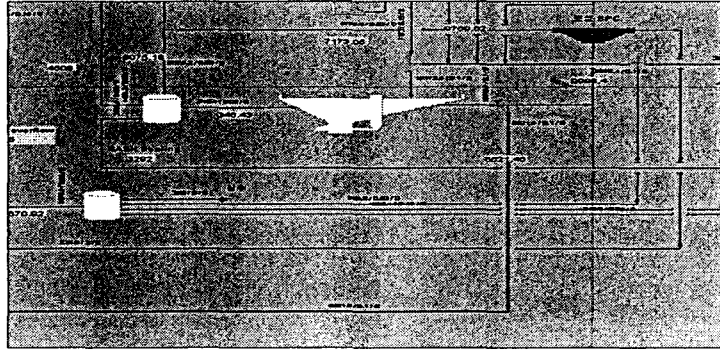


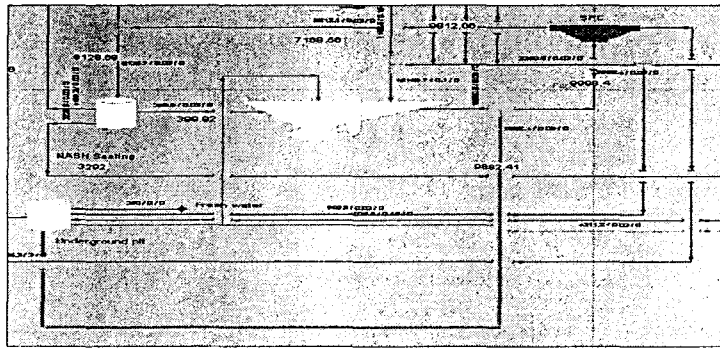
Fig 1. BAT application in pulper

### 3. 2 Wire pit 월류수 및 지하 pit 용수라인

Simulation 분석 결과, Wire pit의 월류수가 폐수 처리장으로 이송되도록 배관이 구성되어 SPC의 처리 용량을 초과하여 약 4000m<sup>3</sup>/day 이상의 용수가 폐수 처리장으로 이송되고 있어 폐수 처리장 환경 부하 증가의 원인이 된다고 판단되었다. 용수 라인의 효율적 사용을 위해 폐수 처리장으로 유입된 wire pit 월류수가 SS성분 제거 후 filler-back pulper 희석수로 사용되고 있는 용수 라인을 수정하여 지하 pit로 포집된 내부 용수와 배관이 결합되어 전량을 filler-back pulper 희석수로 사용되도록 개선하였다.(Fig 2) 이로써 전체 폐수량의 50% 이상을 차지하는 물량이 공정내로 재순환됨으로서 폐수 처리장의 환경 부하가 감소되고 폐수 처리공정에 투입되던 약품량을 절감할 수 있었다.



Before BAT application

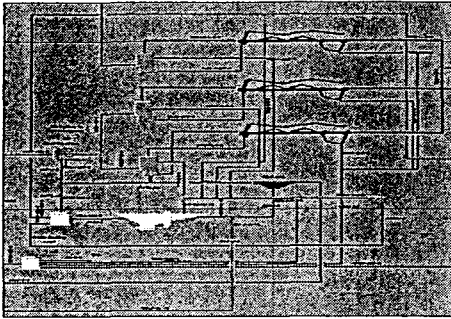


After BAT application

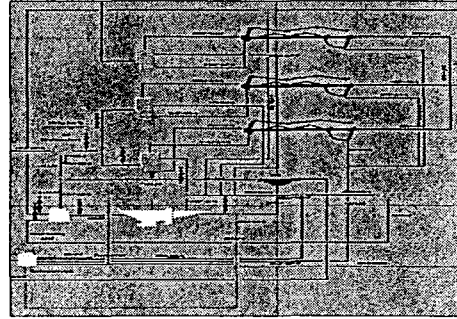
Fig 2. BAT application in the wire pit and underground pit

### 3. 3 용·폐수 순환망 안정화 방안

폐지의 재활용 시, 미세분등에 의한 탈수 효과에 의해 발생하는 공정 내 용수량의 변화가 직접적으로 영향을 미칠 수 있다. 다시 말해, 현장의 용수 배관 라인이 자연 탈수액은 wire pit로, 강제 탈수액은 지하 pit로 이송되도록 구성되어 있어 미세분 함량이 많을 경우 wire pit에 필요한 용수량이 부족하여 폐수 처리장 유입수 및 처리수로 보충하는 현상이 발생하게 된다. 이러한 현상을 개선하기 위하여 지하 pit 이송 라인 중 일부가 wire pit로 이송되도록 변경하여 wire pit의 용수량을 안정화 하였다.(Fig 3)



Before BAT application



After BAT application

Fig 3. BAT application in stability of the wire pit white water

### 3. 4 BAT 적용 후 품질 변화

공정 라인에 BAT를 적용하기 전과 후에 생산된 제품의 물성 값을 분석하여 백수의 재활용에 따른 품질 변화 여부를 분석하였다. Fig 4에 나타낸바와 같이 모든 물성 값에서 BAT 적용 전과 별다른 차이가 나타나지 않았다. 이는 wire pit나 지하 pit에서 재활용된 백수가 라이너지에서 가장 강도 형성에 예민한 top층이 아닌 filler나 back층의 pulper 희석수로 사용되었기 때문으로 사료된다. 그러나 시간의 경과에 따라 백수의 재활용률은 높아지기 때문에 향후 제품의 품질 변화가 일어날 가능성이 있다고 판단되며 이에 따른 지속적인 관찰과 분석이 필요하다고 사료된다.

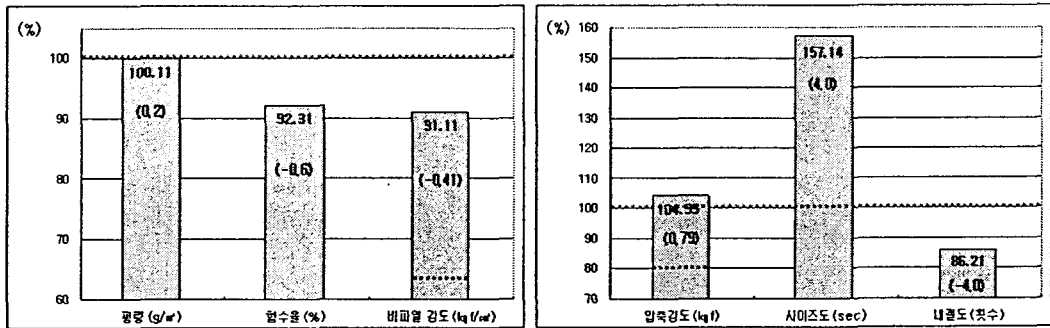


Fig 4. The changes of mechanical property after BAT application

### 3. 5 BAT 적용 후 백수 특성 변화

BAT 적용 후에 백수의 재활용률 상승에 의한 오염 정도를 파악하기 위해 BAT

적용 지점인 wire pit와 지하 pit의 백수를 채취하여 TCOD, SCOD, 전기전도도를 측정하였다. Fig 5에 나타낸 바와 같이 TCOD와 전기전도도에서는 BAT 적용 전과 별다른 차이가 없었지만 SCOD의 경우 두 배가량 증가하는 경향을 나타내었다.

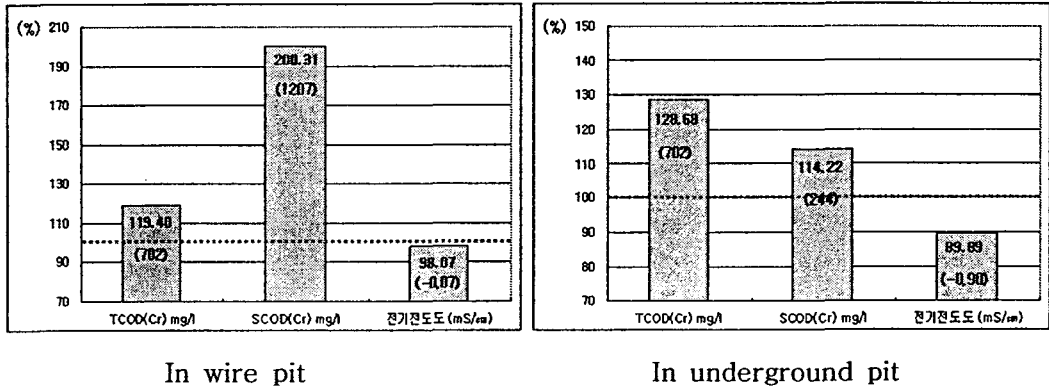


Fig 5. The changes of white water property after BAT application

이는 재활용률의 증가에 기인한 것으로 판단이 되지만 전술한 바와 같이 재활용된 백수는 filler나 back pulper의 희석수로 전량 사용되기 때문에 제품 생산에 있어 품질 저하에 끼치는 영향은 적다고 사료된다.

#### 4. 결 론

제지 공정의 mass balance를 공정 모사 프로그램을 사용하여 정량화할 수 있었고, 정량화된 mass balance를 기준으로 현장의 용·폐수 라인에서 폐수 발생의 원인이 되는 지점을 확인 할 수 있었다. 용·폐수의 최적화를 위해 공정 모사 프로그램을 활용하여 용·폐수 라인을 변경하였고 simulation을 실시하였다. Simulation 실시 결과 라인 변경에 의해 폐수 발생량을 50%이상 줄일 수 있었고, 이를 현장에 적용하여 용·폐수 발생량을 최적화 할 수 있었다. 백수의 재활용률에 따라 BAT 적용 지점의 백수 수질은 SCOD만이 두 배 가량 증가하여 제품 품질의 저하가 예상 되었지만 재활용된 백수를 filler나 back pulper 희석수로 전량 사용하였기 때문에 급격한 강도 저하가 발생하지 않았다고 사료된다.

## 5. 인용문헌

1. Smith, J., Clark, M., Guidotti, P., Hartung, R. "Novel Approach to the Management of Recycled Whitewater and Solid Waste Disposal at a Recycle Newsprint Mill" , 1992 Environmental Conference Proceedings
2. Carsillo, S., Apgar, J. "Effects of Water Closure in a Recycle Board Mill – A22 Year Story" , 1998 Pulping Conference Proceedings
3. Robertson, L.R. "Impact of Water Reuse on Papermachine Microorganisms" ,1997 Biological Sciences Symposium Proceedings
4. Barnack, M., Stein, R., Gellner, L. "Optimization of a Recycle Linerboard Mill WWTP" , 2000 Environmental Conference Proceedings