

Reuse 방식을 이용한 Multi-Contaminant 공정의 WasteWater 최소화를 위한 최적 설계

박진수*, 김민수, 정재학, 서민교, 소원섭
 영남대학교 응용화학공학부
 (zi00123@orgio.net*)

Optimal design for Wastewater minimization that occur in Multi-contaminant process by reuse method.

Jin Soo Park*, Min Sue Kim, Jae Hak Jung, Min kyo Seo, Won Shoup So
 School of Chemical Engineering & Technology, Yeungnam University
 (zi00123@orgio.net*)

서론

과거에는 물은 무한한 저 비용의 자원으로 취급되었으나, 산업의 발전에 함께 물의 사용이 점차적으로 늘어나고, 그와 동시에 물의 과(過)사용으로 인한 환경파괴의 위험이 계속해서 증가되면서 그에 따라 산업공정에 사용되는 용수의 가격이 급등하고 있는 추세이다. 그럼 추세에 힘입어 어떤 지역에서는 물의 사용에 대해 제한할 것으로 보여 지고, 동시에 방출되는 물에 대한 자본 소비와 오수 처리하기 위해 소요되는 비용이 올라가고 있다. 그래서 Fresh Water의 소비 감소와 Wastewater의 재활용으로 발생하는 이점에 많은 관심을 가지게 되었다.

물 소비는 재사용, 재생산, 적절한 공정의 변화로 최소화시킬 수 있다. 그 방법은 각각의 공정에서 가장 많이 발생하는 오수를 기준으로 하여 최대한 물의 재사용을 가능하게 만드는 것이다. 다수의 오염 물질에 대해서도 적용이 가능할 것이다. 다수의 오염물질이 포함된 공정을 선택하여 실제 시뮬레이션을 통해 물 사용의 최소화 정도와 그 흐름을 수식화한다. 본 연구는 Umist University의 "Water" Package를 활용하여 여러 오염물질을 포함하는 Shadow Mask 공정의 수세공정에 적용하여 각 공정의 제약조건에 맞게 최대의 효과를 발휘하는 물 흐름 네트워크를 디자인하여 본 후 그 효과를 실측치로 제시한다.

연구내용

| Process number | Contaminant | Mass load of Contaminant (kg/h) | Cin (ppm) | Cout (ppm) | Water Flowrate (te/h) |
|----------------|-------------|---------------------------------|-----------|------------|-----------------------|
| 1 | A | 8 | 0 | 100 | 80 |
| | B | 4 | 20 | 70 | |
| 2 | A | 7.2 | 80 | 200 | 60 |
| | B | 5.4 | 30 | 120 | |

표 1. Multiple Contaminants 경우의 공정표

다음 표1을 가지고 기존의 방식을 보여주면 다음과 같다. Multi-contaminant 의 공정데이터를 나타내고 있다. 이 데이터를 가지고 부분처리를 해줌으로써 Reuse의 효율을 증대해 줌을 확인해 보려고 한다. Contaminant A를 Key component로 하여 각 공정의 Water profile을 도식하여 다음 그림 1은 위의 표 1의 데이터를 부분 처리를 하지도 않고 Reuse를 했을 경우의 Limited Composite curve을 나타내고 있다.

$$flowrate[te/hr] = \frac{10.4 \times 1000}{100} = 104$$

그림 2는 표 1의 데이터를 각각의 오염물질을 한 그림에 나타낸 그래프이다. 여기서 확인할 수 있듯이 부분 처리를 하기 위한 최소의 농도를 확인할 수 있다.

Contaminant B가 Process 1에서 사용된 후 Process 2에서 Reuse 하기 위해서는 30 ppm 이하에서 가능하기 때문에 초기 water flowrate는 26.67 te/hr 이 된다.

$$flowrate[te/hr] = \frac{0.8 \times 1000}{30} = 26.67$$

이때 contaminant B의 process 1에서 출구 농도는 30 ppm 이며 mass load of contaminant B는 0.8 kg/hr 이 되고, contaminant A의 process 1에서 출구 농도는 33.4 ppm 이 되고, mass load of contaminant A는 2.67 kg/hr이 되어 process 2에서 reuse를 할 수 있다. process 2에서 이 유량을 reuse 하면 contaminant A의 경우 process 2에서 처리되는 mass load는 3.2004 kg/hr 이 되며, 농도의 변화는 53.34 ppm이며, contaminant B의 경우 process 2에서 처리되는 mass load는 2.4003 kg/hr 이며, 농도변화는 40.005ppm이 된다. 여기서 Process 1의 나머지 오염물을 처리하기 위해서는 Contaminant A는 53.33 kg/hr의 fresh-water가 투입되어야 하며, Contaminant B를 처리하기 위해서는 45.714 kg/hr의 water가 투입되어야 한다. 그러므로 53.33 kg/hr의 water를 투입하면 Contaminant A의 process 1의 출구 농도는 100 ppm 이 되고 Contaminant B의 출구 농도는 60.003 ppm이 된다. 즉 process 2의 입구 농도가 contaminant A의 경우 100ppm 이상이 되어야 되며, contaminant B의 경우 60.003 ppm 이상이 되어야 한다. 초기 투입된 26.67 te/hr의 fresh-water가 process 2에 reuse 되어 contaminant A의 process 2의 입구 쪽의 농도가 130 ppm 이 되었으며 contaminant B의 경우 70.005 ppm이 되었다. 그러므로 다음에 투입된 53.33kg/hr의 water를 process 2에서 바로 reuse가 가능하여 진다. 즉, 전체 사용된 물의 양은 $26.67 + 53.33 = 80.00$ te/hr 이 된다. 따라서 물의 양이 23.1% 절감할 수 있다. 이 값은 기존의 방식인 부분 처리하지 않았을 때보다도 물의 사용량을 절감됨을 수치적으로 확인할 수 있으며 또한 Regeneration 하였을 때와 동일한 양을 사용되었음을 확인할 수 있다.

현장 DATA 적용

본 연구의 대상 공정은 다음 그림 3에서 나타낸 바와 같이 1수세 80.8 t/day, 2수세 80.8 t/day, 3수세 170.0 t/day, 4수세 185.9 t/day, 순수수세 24.0 t/day으로써 총 541.5 t/day의 용수를 사용하고 있는 Shadow Mask 제조 공정이다. 이 공정에서의 공정 데이터는 다음 표 2와 같으며 맨체스터 Umist University에서 개발한 시뮬레이션 Tool "Water"를 이용하여 Shadow Mask 공정 중 용수절감 효과를 수치적으로 제시해보았다.

다음 그림 4는 이의 논문에서 제시한 기존의 Reuse 방식을 이용한 최적 공정 설계이다. 여기서처럼 공정을 부분 처리하지 않고 공정을 순서대로 한번에 처리할 경우 들어가는 물의 양은 324.9 t/day 이다. 최적 설계를 하지 않은 공정보다 약 40%의 절감 효과를 볼 수 있다.

본 연구를 통해 개발된 최적 설계는 다음 그림 5에 나타내었다. 아래 설계에 의하면 총 309.6 t/day의 용수를 사용하여 같은 공정을 운전할 수 있다. 이는 Water minimization 기법을 사용하기 전의 공정과 비교할 때 보다 약 45%의 용수 절감율을 보이고 있다. 또한 부분 처리하지 않은 공정보다 약 5% 정도의 절감율을 확인할 수 있었다.

결론

본 연구에서는 Water Minimization 기법인 Reuse의 효율을 증대시키기 위한 방식을 제시하는 것이다. 부분 처리를 해줌으로써 기존의 방식보다 약 10% 정도의 절감 효과를 얻을 수 있었다. 이와 같이 부분 처리를 이용하여 Shadow Mask 공정에서의 용수절감 설계를 개발하였다. 본 연구를 위해 Umista가 개발 공급하는 Water를 사용하였으며 컴퓨터는 Pentium IV에서 결과를 도출하였다.

기존 공정에서 최소화 방식을 사용하지 않았을 때 용수 사용량은 총 541.5 t/day로써 본 연구에 의해 개발된 결과에 비해 약 170%나 더 많은 용수를 사용하는 것으로 드러났다. 즉 본 연구결과에 의한 용수 절감 설계를 현장에 도입할 경우 용수 45%를 절감할 수 있다는 것을 나타낸다. 부분 처리하지 않고 Reuse를 했을 때보다도 약 5%의 절감 효과를 얻을 수 있었다.

본 연구를 통해 환경오염의 범위를 줄일 수 있었으며 또한 경제적 절감 효과도 기대할 수 있었다.

감사의 글

본 연구에 많은 도움을 주신 교수님을 비롯해 많은 연구실의 선배 후배들에게 감사드립니다.

| Process | Contaminant | Mass load(g/hr) | C _{in} (ppm) | C _{out} (ppm) |
|---------|-------------|-----------------|-----------------------|------------------------|
| 1수세 | Cod | 29.707 | 1.400 | 6.000 |
| | ss | 6.458 | 8.000 | 9.000 |
| | Fe | 4.004 | 0.000 | 0.620 |
| | Cr | 0.129 | 0.000 | 0.020 |
| | Zn | 0.032 | 0.010 | 0.015 |
| 2수세 | Cod | 18.082 | 1.600 | 4.400 |
| | ss | 77.496 | 11.000 | 23.000 |
| | Fe | 48.112 | 0.150 | 7.600 |
| | Cr | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | Zn | 0.000 | 0.015 | 0.015 |
| 3수세 | Cod | 0.708 | 1.500 | 1.600 |
| | ss | 2.833 | 0.700 | 1.100 |
| | Fe | 1.062 | 0.000 | 0.150 |
| | Cr | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | Zn | 0.007 | 0.006 | 0.007 |
| 4수세 | Cod | 11.084 | 0.000 | 1.400 |
| | ss | 3.167 | 0.000 | 0.400 |
| | Fe | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | Cr | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | Zn | 0.048 | 0.000 | 0.006 |
| 순수수세 | Cod | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | ss | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | Fe | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | Cr | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | Zn | 0.001 | 0.000 | 0.001 |

표 2. 공정데이터

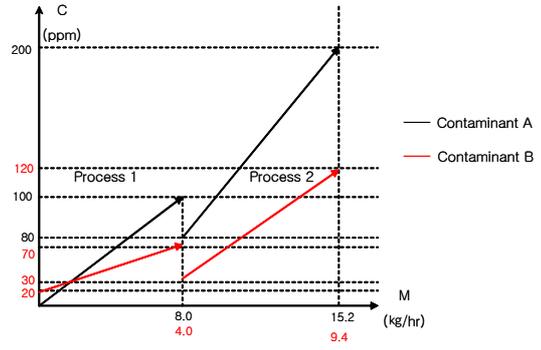
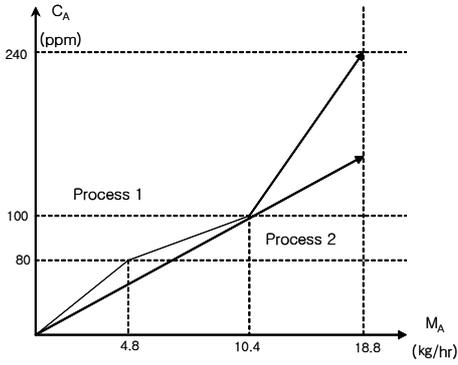


그림 1. 표 1의 데이터를 Reuse 그래프

그림 2. 표 1의 Contaminant 에 대한 그래프

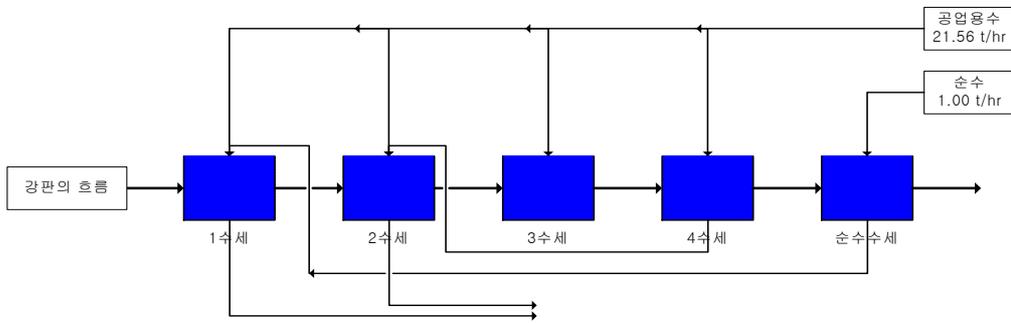


그림 3. 최초의 공정 흐름도

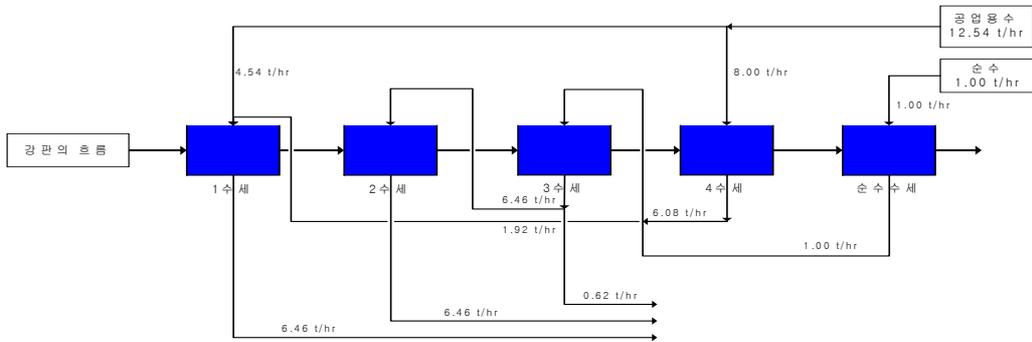


그림 4. 기존 방식에 의한 최적 설계 공정도

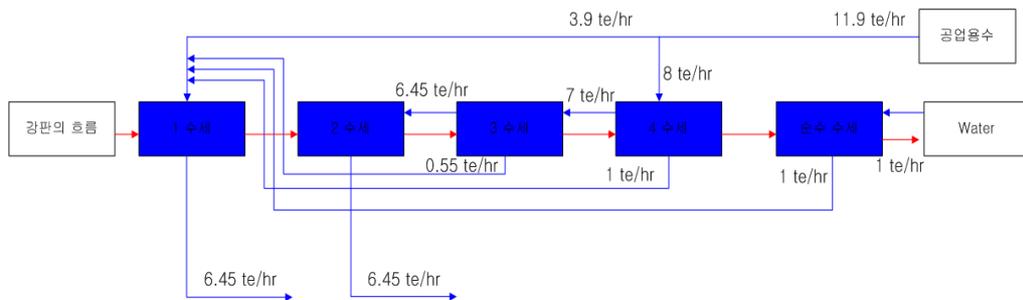


그림 5. 개선된 방식에 의한 최적 설계 공정도