

판지생산공정 라인에서의 오염원 환경분석

김형진¹⁾ · 신동욱¹⁾ · 유성호²⁾

1) 국민대학교 임산공학과, 2) (주) 미래 엔지니어링

1. 서론

제지 산업은 금속 산업에 이어 두 번째로 다량의 용수를 소비하는 산업이며, 업종별 용, 폐수의 성상면에서 오염발생 부하가 가장 높게 나타나는 특성을 지니고 있다. 따라서 일반적으로 1%의 원료와 99%의 물이 혼합되어 최종제품으로 이루어지는 공정 특성을 지니고 있기 때문에 적절한 용수의 사용이 제품생산 및 품질 뿐 만 아니라 폐수 처리장의 환경부하 가중에 까지 영향을 미치게 된다.

최근 들어 물 부족 현상이 심화되고 있고 더불어 폐수배출기준 또한 강화되고 있는 우리나라 대부분 제지공장은 공업용수 사용에 대한 부담과 방류수 배출에 대한 분담금을 부과하고 있으며, 이러한 현실이 제지산업에 더해지는 진퇴양난의 위기로 작용할 수 있다고 예상할 수 있다. 그러므로 용수 사용량의 절감 및 공정용수와 방류수의 배출 오염부하를 절감할 수 있는 방안의 마련이 시급히 요구된다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 판지생산 공정에서의 원·부재료의 종류 및 환경부하의 정량화와 이를 토대로 한 오염원의 기여도를 분석하고, 발생폐수의 COD 및 방류수 COD의 환경영향 특성을 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시 재료

판지생산 공정에 사용되고 있는 원·부재료의 환경 부하를 평가하기 위해 판지 생산 업체인 A사의 원·부재료를 분양 받아 사용하였다. 원재료로서는 UKP, AOCC 2종(분급, 미분급), 지대용지, KOCC 2종(상급, 하급) 등 총 6종류를 분석하였으며, 부재료로서

는 각종 비섬유상 첨가제를 분석하였으며 그 종류와 특성은 표 1과 같다.

표 1. 비섬유상 첨가제의 종류 및 상태

종 류	상 태	종 류	상 태
Rosin	액상 50%	탈 기 제	액 상
Alum	액상 7.5%	Felt 세척제(Type A)	액 상
지력증강제(Anion)	액상 15%	Felt 세척제(Type B)	액 상
지력증강제(Cation)	액상 8%	염료 A	분 말
보 류 제	액상 10%	염료 B	분 말
슬라임조절제	액 상	염료 C	분 말
전 분	분 말	염료 D	분 말

2.2 원·부재료의 COD 측정

원·부재료의 COD는 HACH DR4000을 이용하여 Reactor Digestion Methods로 측정하였다. 원재료의 경우 실험실용 Pulper에서 농도 5%로 50℃에서 30분간 Repulping 한 다음 여액을 받아 Whatman GF/C Filter로 Filtering 후 여액의 COD를 측정하였고, 비섬유상 첨가제의 경우 약품 자체의 높은 COD 값으로 인해 증류수를 사용하여 일정 배수로 희석한 후 3회 반복 측정 한 다음 평균값을 취했다.

2.3 원·부재료의 NBDCOD 측정

원·부재료의 NBDCOD(Non-Bio Degradable COD)는 현장 폐수처리 공정을 적용한 Lab Test로 측정하였으며 처리조건은 표 2 와 같다.

표 2. NBDCOD 실험조건

구 분		실 험 조 건
NBDCOD 처리	형 태	활성오니폭기법 Batch 운전
	MLSS	2,000~2,500 ppm (현장사용 반송오니 이용)
	DO	3ppm 이상
	Temp.	27~32℃
	HRT	24 hr

2.4 COD 기여도 분석

공정현황 및 원부재료 분석결과를 토대로 A사의 판지공정라인 Case A와 Case B의 Input source별 COD 기여도를 분석하였다. 기여도 분석은 아래의 식에서와 같이 단위 투입량 대비 유발 COD양과 투입량을 이용하여 COD 유발량을 계산한 다음 COD 유발 총량 대비 각 Input source의 COD 유발량의 Portion을 COD 기여도 백분율(%)로 표시하였다.

$$\text{COD 기여도 (\%)} = \frac{\text{Input source의 COD 유발량}}{\text{COD 유발총량}} \times 100$$

3. 결과 및 고찰

3.1 원·부재료의 COD 및 NBDCOD 분석

판지 제조 공정에 사용되는 UKP 및 각종 재활용 원료의 환경부하 정량화와 이들이 공정용수에 미치는 영향을 알아보기 위하여 COD 및 NBDCOD를 측정하였으며, 그 결과를 표 3에 나타내었다.

섬유상 원재료의 COD 분석결과 KOCC가 가장 높은 COD 부하를 유발하였고 UKP와 지대원지는 다소 낮은 COD를 유발하였으나, 방류수질에 직접적인 영향을 미치는 NBDCOD의 경우 분급된 AOCC 및 미분급 된 AOCC에서 가장 높은 부하 값을 나타냈다. 이는 AOCC(분급, 미분급)에 보다 많은 미생물 난분해성 물질이 함유되었기 때문으로 보인다.

표 3. 섬유상 원재료의 COD 및 NBDCOD 측정

원재료	SCOD _{Cr} , ppm	mg SCOD _{Cr} / g Pulp	NBDCOD _{Cr} , ppm	제거효율, %	mg NBDCOD _{Cr} / g Pulp
KOCC(상급)	1005	19.10	194	80.7	3.69
KOCC(하급)	1228	23.33	240	80.5	4.56
지대원지	393	7.47	174	55.7	3.31
분급 AOCC	588	11.17	258	56.1	4.90
미분급 AOCC	702	13.34	268	61.8	5.09
UKP	180	3.42	127	29.4	2.41

미섬유상 첨가제의 경우 Rosin, 전분, 탈기제, 염료의 COD가 비교적 높은 값을 나타내었으나, NBDCOD의 경우 생분해성이 우수한 전분과 탈기제가 비교적 낮은 부하를 초래하는 것을 알 수 있었다. 반면 낮은 COD 값을 나타낸 슬라임조절제의 경우 NBDCOD 측정 과정에서 황성오니의 COD 분해 능력을 저하시켜 NBDCOD 값이 증가하는 것을 알 수 있었다.

이와 같이 판지제조 공정에 사용한 섬유상 물질 및 미섬유상 첨가제를 분석한 결과 섬유상 원재료 보다는 미섬유상 첨가제의 환경부하가 매우 높게 나타났으며, 원재료의 경우에도 섬유상 원료의 성상에 따라 부하정도가 크게 차이가 남을 알 수 있었다.

표 4. 미섬유상 첨가제의 COD 및 NBDCOD 측정결과

Sample	TCOD _{Cr} , ppm	mg COD _{Cr} / g Chemical	NBDCOD _{Cr} , ppm	mg NBDCOD _{Cr} / g Chemical
Rosin	1,179,000	1,155.7	296	591.7
Alum	60	0.06	-	-
지력증강제(Anion)	170,000	166.6	228	151.8
지력증강제(Cation)	95,000	93.1	64	79.9
보 류 제	131,000	128.4	9	60.0
슬라임조절제	7,490	7.5	3	200.0
전 분	880,000	862.6	3	20.0
탈 기 제	781,000	765.5	1	66.7
Felt 세척제(Type A)	42,000	41.2	0.1	10.0
Felt 세척제(Type B)	128,000	125.5	0.3	30.0
염료 A	708,000	694.0	56	373.3
염료 B	622,000	609.7	19	126.6
염료 C	838,000	821.4	51	339.9
염료 D	503,000	493.0	11	73.3

3.2 판지제조공정 Case A 와 Case B의 Input source별 COD 기여도 분석

A사의 대표 생산 지종 2종을 선정하여 Case A와 Case B로 구분한 후 각 지종 생산

시 투입되는 원·부재료의 투입량에 따른 Input source별 COD 기여도를 분석하였으며, 그 결과를 그림 1, 2, 3 및 4에 나타내었다.

그림 1 및 2는 판지 제조공정 Case A의 경우를 나타낸 것으로서 각종 섬유상 및 비섬유상 첨가제 중 Starch > AOCC > 지력증강제(Anion) > Rosin > 지력증강제(Cation)의 순으로 COD 유발 부하가 높은 것으로 나타났고, 실질적으로 방류 수질에 영향을 미치는 난분해성 COD의 경우 지력증강제(Anion) > AOCC > Rosin > 지력증강제(Cation)의 순으로 높은 NBDCOD값을 유발하는 것으로 나타났다.

그 중 지력증강제(Anion type)가 전체 Input source가 유발하는 NBDCOD 총량 중 38%의 기여도를 보여주고 있으며, Cation type, Anion type을 포함하면 48%로서 총 유발량의 절반에 가까운 기여도를 나타냈다. 한편 섬유상 물질 중 단위 투입량 COD 부하는 낮지만 투입량이 많은 AOCC의 경우도 높은 COD 기여도를 나타냈다.

또한 생분해성이 낮은 Rosin의 경우 단위 투입량은 적지만 최종 방류 수질에는 비교적 높은 영향을 미치는 것으로 나타났다.

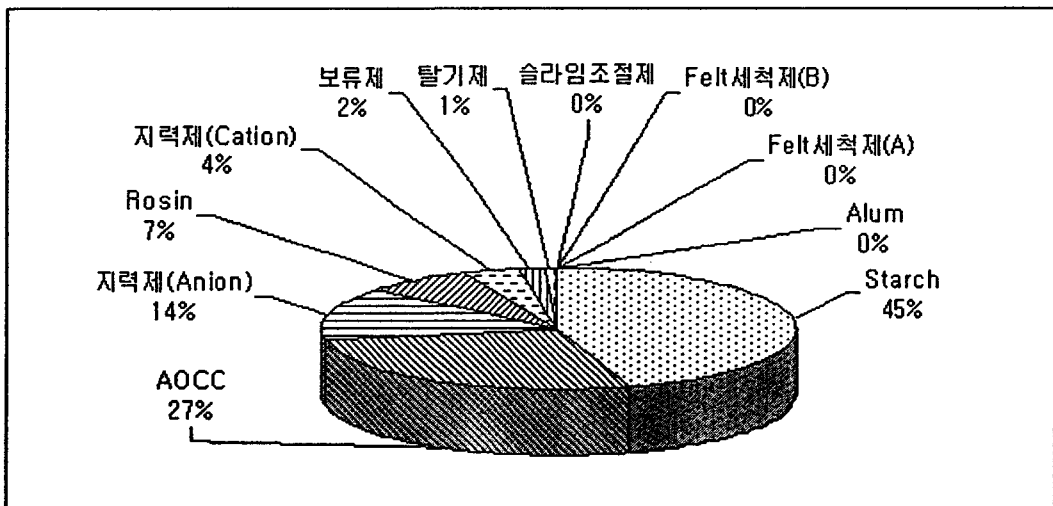


그림 1. 판지제조공정 Case A의 Input source별 COD 기여도.

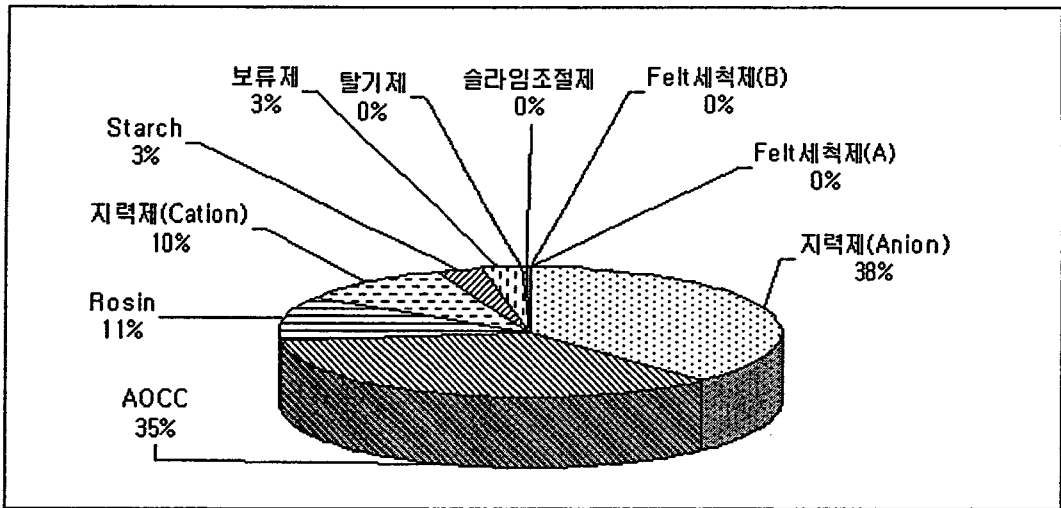


그림 2. 판지제조공정 Case A의 Input source별 NBDCOD 기여도.

그림 3 및 4는 판지제조공정 Case B의 경우를 나타낸 것으로서 각종 섬유상 및 비 섬유상 첨가제 중 KOCC > 지력증강제(Anion) > Rosin > 지력증강제(Cation) > 지대용지 순으로 높은 COD를 유발하는 것으로 나타났으며, NBDCOD의 경우 지력증강제(Anion) > KOCC > 지력증강제(Cation) > Rosin > 지대용지의 순으로 높은 NBDCOD를 유발하는 것으로 나타났다.

Case B의 NBDCOD 결과는 Case A의 분석결과에서 보여주었던 결과와 유사하였으며 지력증강제(Anion type)가 전체 Input source가 유발하는 NBDCOD 총량 중 48%의 기여도를 보여주고 있으며, Cation type, Anion type을 포함하면 61%로 총 유발량의 절반을 넘는 높은 기여도를 나타냈다. 한편 투입량이 많은 KOCC, 지대용지 같은 섬유상 원료들의 COD 기여도도 매우 높은 것으로 나타났다.

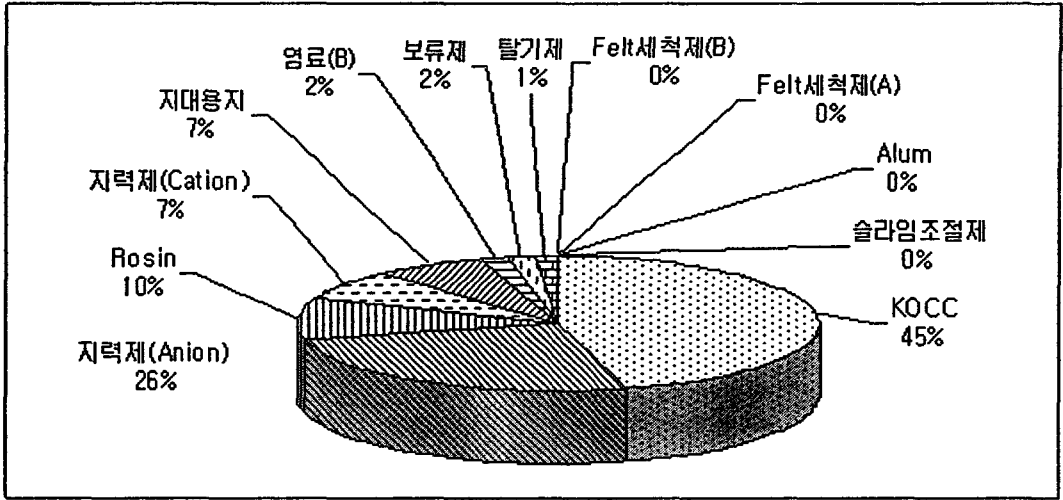


그림 3. 판지제조공정 Case B의 Input source별 COD 기여도.

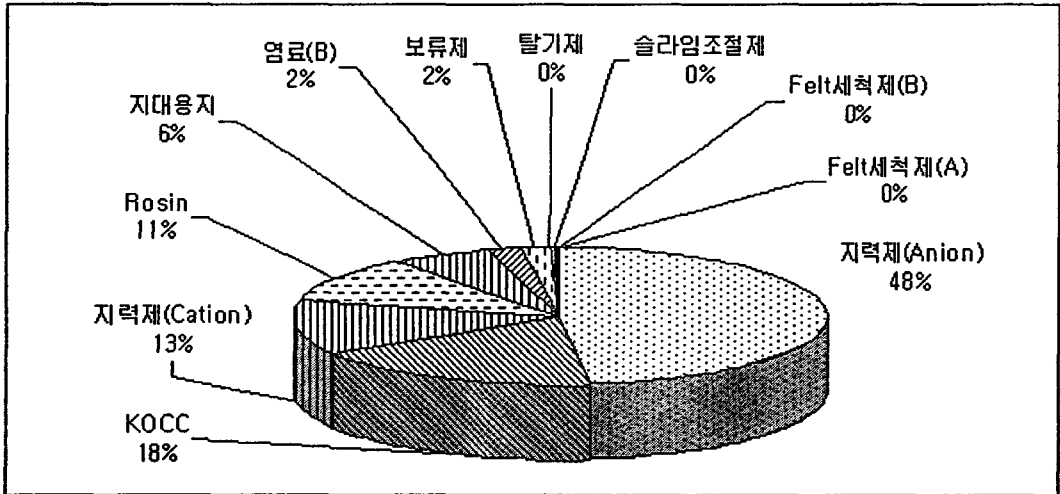


그림 4. 판지제조공정 Case B의 Input source별 NBDCOD 기여도.

4. 결 론

본 연구에서는 판지제조공정에 사용되는 각종 섬유상 물질 및 비섬유상 첨가제가 지

니는 COD 유발 부하 및 이들이 최종 방류수질에 영향할 수 있는 NBDCOD의 유발 부하를 분석하고, 향후 용수 부족 등에 의한 용수 재활용의 확대 및 무방류화 공정 등에 대비하기 위하여 각종 원·부재료가 야기할 수 있는 유발 부하의 기여도를 평가하고자 하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 각종 원·부재료의 COD 부하 분석결과 원재료에서는 KOCC가 가장 높은 COD를 유발시켰으나, NBDCOD의 경우 AOCC(분급, 미분급)가 가장 높은 값을 나타내었다. 또한 부재료의 경우 Rosin, 전분, 탈기제, 염료가 가장 높은 값을 나타내었으나 생분해성이 우수한 전분과 탈기제의 경우 NBDCOD는 낮은 특성을 나타냈다.

2. 판지제조공정 조건에 따른 Case A 및 B의 COD 기여도 분석결과 Starch, AOCC, KOCC 등이 높은 COD를 유발하는 것으로 나타났으나, 방류수질에 직접적으로 영향을 미치는 NBDCOD의 경우 Case A 및 B 모두 지력증강제(Anion)가 가장 높은 기여도를 나타냈다. 따라서 폐수처리장 방류수의 유기물 부하를 줄이기 위해서는 지력증강제의 사용량 및 생분해성이 우수한 환경친화적인 약품으로의 대체 등이 수반되어야 할 것으로 보인다.

5. 인용문헌

1. Henrikke Baumann, Tomas Rydberg, "A comparison of three methods for impact analysis and evaluation", J. Cleaner Prod.(1994) Vol.4 No.1, 1994
2. Joseph Fiksel, "Design for Environment", McGraw-Hill, 1996
3. Michael Hauschild, "Environmental Assessment of Products", 1998
4. Lindholm G., Jantunen E., "Treatment and reuse of process water in pulp and paper industry, steps towards effluent free operation", Tappi Conference, 1996
5. Gartz R., "The zero effluent mill", The 18th International Mechanical Pulping Conference 1993, Oslo
6. Jantunen E., "The effluent free new print mill", Paper and Timber, Vol. 74, No 1, 1992
7. Sweden, Royal Institute of Technology, Environmental Protection in the Pulp and Paper Industry. Stockholm, October, 1992
8. Springer, A. M., Industrial Environmental Control. Pulp and Paper Industry. Second Edition. Tappi Press, 1993