프랑스 청정기술 사례

엄 미정*, 이 정학

***서울대학교 공과대학 기술정책 협동과정**

서울대학교 공과대학 공업화학과

산업혁명이후 인류는 문명의 발전이라는 이유로 경제적 발전과 물질적 풍요를 추구해 왔다. 그 결과 인류의 생산성은 끊임없이 증가하여 1990년 현재의 생산성은 1900년대와 비교하여 4배 이상 증가하였다. 그러나 그와 더불어 환경파괴는 그보다 더 큰 비율로 진행되었고 일찍 산업화된 나라에서는 1970년대로 들어서면서 시민단체를 중심으로 한 환경보호 운동이 활발해 지기 시작하였다. 이러한 환경운동은 1980년대의 정부주도 시대를 지나 1990년 현재는 상품의 품질뿐만이 아니라 생산과정, 생산기업 자체의 환경친화적 이미지에 의해 기업의 성장이 영향을 받게 되었으며 이에 따라 오염의 주체인 기업이 이제는 환경 문제의 해결을 위한 기술개발의 주체로 부각되기 시작하였다. 또한 이러한 움직임은 여러 국제 규약을 통하여 경제적인 압력의 수단으로 이용됨에 따라, 이제 전세계적으로 마케팅, 조직관리 및 생산현장 등을 포함한 기업경영의 모든 측면에 있어서 환경이라는 개념을 별도로 분리하여 사고할 수 없게 되었다.

한편 100여년 간의 역사 속에서 생산성증대와 오염 저감 기술 개발의 순차적인 발전을 겪어 온 선진국의 기업과 비교하여 아직 생산 기술에 있어서도 경쟁력을 갖지 못한 우리 나라 기업은 청정기술개발을 통한 이 두마리 토끼의 동시적 획득의 필요성은 더 크다고 할 수 있다. 따라서 1990년대 들어 청정기술에 대한 관심과 논의는 학계에서 시작하여 기업으로 급속히 확대되어 투자가 활발히 진행되고 있다. 정부차원에서도 국가 프로젝트로 선정, 청정기술상 제정, 환경친화적 기업의 선정 등 기업에서의 기술개발 및 논의 확대를 꾀하고 있고 이에 대해 기업들이 적극적인 참여를 보여 주고 있다. 그러나 이러한 의욕에 비해 실용화 차원에서의 성공사례는 아직 미비한 수준이며, 기업경영전반에 있어서 이러한 개념이 확립되기까지 아직도 해결해야 할 많은 문제점들이 남아 있다.

프랑스에서의 청정기술에 관한 논의의 시작은 우리보다 훨씬 앞선 70년대로서, 70년대 들어서 개념의 도입과 정립과정을 거쳐 80년대 본격적인 청정기술의 보급이 시작되어 지금까지 계속적으로 개발이 이루어져 왔다. 프랑스 정부는 청정 기술 보급과 기술개발 장려를 위해 청정기술상을 제정하였고, 청정기술, 녹색상품, Technology without Frontier등의 세 분야로 구분하여 각 분야에 탁월한 업적을 이룬 기업에게 매년 이 상을 수여해 오고 있다. 또한 프랑스 환경처는 식품, 화학, 금속 등 여러 분야에서 개발된 청정 기술을 수집, 출판하여 보급하고 있다.

여기서는 이미 산업화된 청정기술 사례들 중에서 피혁, 화약, 비료, 식품, 화학 등의 산업분야에서 대한 경우를 소개할 것이다. 기존 공정의 문제점에서 시작하여 새로운 공정이 도입되게 되는 배경에 대해서 살펴봄으로써 문제의 해결을 위한 접근 방법을 검토하고, 우리 나라 관련

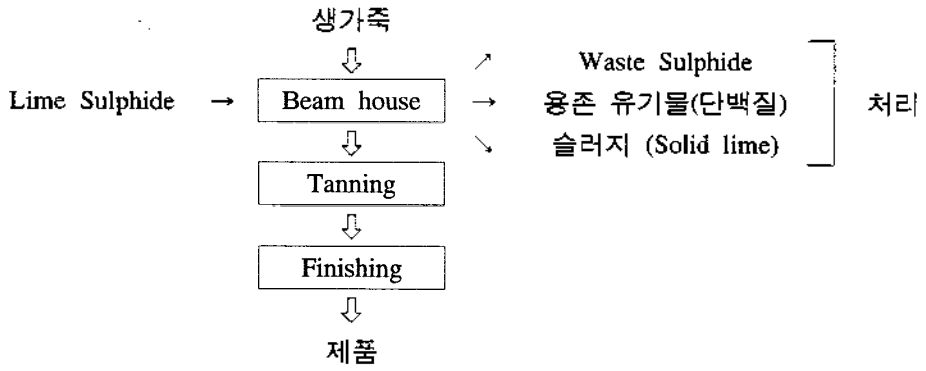
산업에의 응용 및 확산을 꾀하고자 한다.

사례 1: 피혁산업

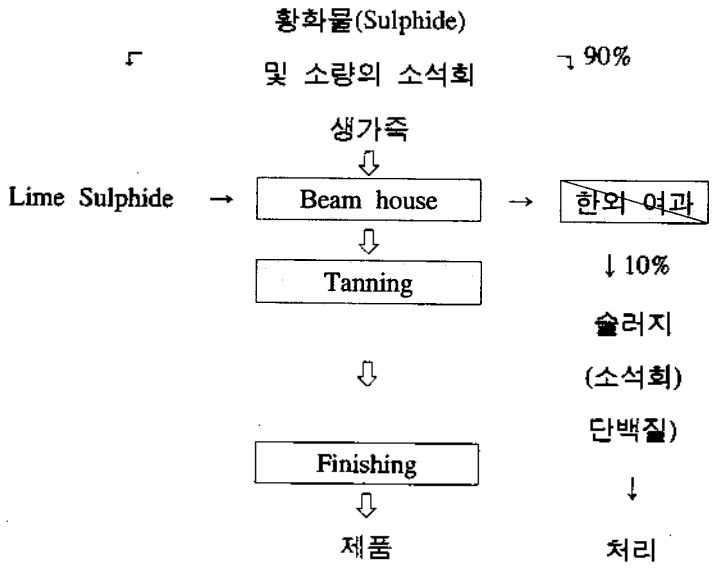
피혁가공 공정은 원료가공 → 전 처리(Beamhouse) → 무두질(Chrome tanning + Post tanning) → 마무리(Finishing)의 단계로 구성되어 있다. 이중 전 처리(Beamhouse)공정에서는 다량의 lime sulphide와 암모늄염이 함유된 폐수가 발생하게 되며 이의 처리가 어려운 실정이다.

Aloy M사의 CTC (Centre Technique Cuir Chaussure Maroquinerie)에서는 전 처리 공정에 사용되는 폐수를 재 순환하기 위하여 한외여과를 도입하게 되었다. 즉 한외여과를 이용하여 발생한 폐수를 농축인자 10까지 농축함으로써 재활용이 불가능한 성분(고체 소석회와 단백질 성분의 유기물 등)을 제거하고 여과수 내의 sulphide를 재 사용하였다.

(1) 기존 공정



(2) 새로운 공정



새로운 공정은 전체 폐수의 부피를 90% 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라 원료로 사용되는 sulphide를 재 이용할 수 있어 폐수 내 COD의 50~60%, 총질소의 50~60%를 줄일 수 있었다. 뿐만 아니라 냄새를 줄이고 폐수와 슬러지에서 단백질과 암모니아를 회수하는 부수적인 효과도 얻을 수 있었다. 그러나 처리에 비교적 많은 비용이 소모되며, 소석회 침전물에 의한 막오염이 나타나는 등의 현상이 문제로 부각되었다.

이 공정은 1980년에 개발되기 시작하여 이미 상업화되었으며 아직까지도 계속 활용되는 공정이다. 이 공정의 투자비 회수 기간은 대략 18개월로 추산되었다.

사례 2: 화약 생산 공정

초석으로 만든 화약을 생산하는 과정에서 다음과 같은 원재료가 필요하다.

- 니트로셀룰로즈(Nitrocellulose)
- 다공성 가루를 안정화하기 위한 용존성 염
- 젤라틴화를 하기 위한 용매

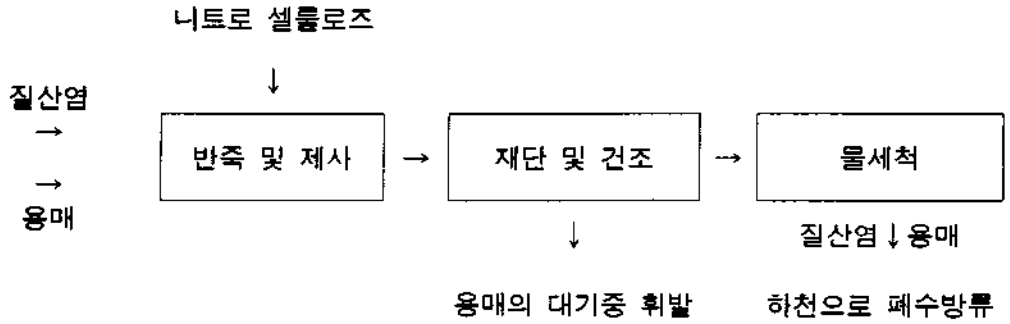
이와 같은 이유에서 KNO_3와 같은 염과 아세톤과 에탄올의 혼합 용매가 사용된다. 따라서 질산염과 유기물의 오염물 발생이 문제가 되었다. 전체 용매의 25% 정도는 폐수 속으로 혼합되며 75% 정도는 대기 중으로 휘발되어 소모된다.

Societe Nationale des Poudres et Explosifs사는 발생하는 아세톤과 에탄올 폐수 전부를 버렸으나 원재료의 낭비 때문에 경제수지를 맞추기 힘들어 짐에 따라 1976년부터 이러한 유기용매를 회수하기 위한 효율적이고 경제적인 방법을 연구하게 되었다.

1986년 폐수 형태로 방류된 유기용매에 의해 오염이 심각해졌기 때문에 경영층에서는 유기물 오염물량을 95%로 줄이기 위한 방법을 개발하도록 결정했다. 물리 화학적 또는 생물학적인 여러 가지 처리방법이 검토된 후에 Pont-de-Buis 공장에서 다음과 같은 목적에 적합한 공정을 개발하였다.

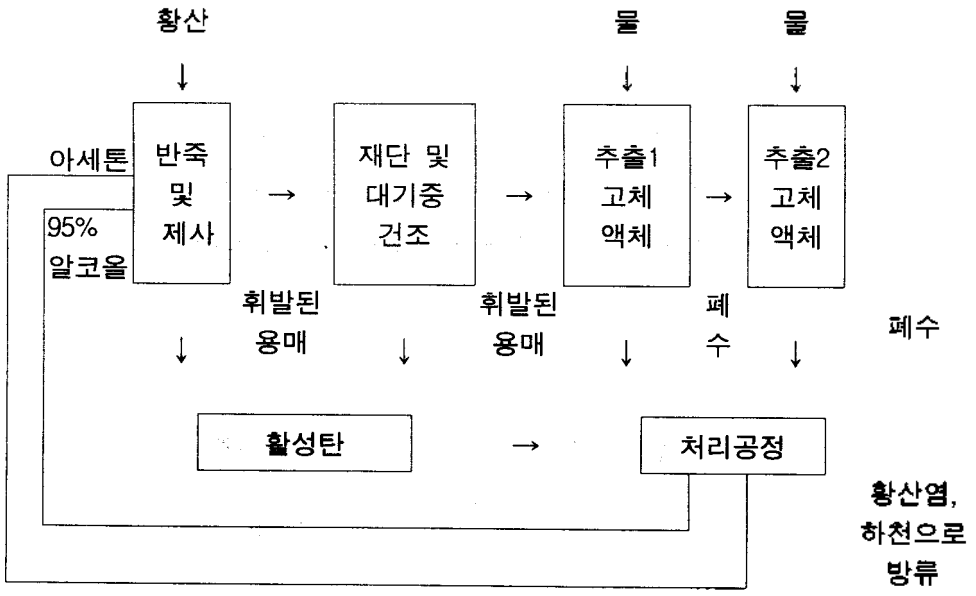
방류수내의 함유량 (kg/day)	설정 목표	기존의 공정
NO_3	300	2,700
COD	100	2,700
BOD	25	1,225

(1) 기존의 공정



(2) 새로운 공정

폐수 내의 용매는 증류(Distillation)와 탈기(Stripping)공정을 통하여 회수하며 기체 상태의 용매는 활성탄에 흡착시켜 고정한 후 증류, 탈기공정을 거쳐 회수한다. 또한 다공성의 지지체로 KNO_3를 사용하는 대신 환경에 영향을 덜 주는 Na_2SO_4로 대체하였는데, 이 화합물은 methionine의 생산시 부산물로 발생하기 때문에 쉽게 구할 수 있다. 결과적으로 지금까지 전량 방출되었던 용매를 대부분 회수할 수 있었으며 황산염만 방류하게 되었다.



(3) 평가

- 환경 평가

폐수 성분 (kg/day)	기존 공정	새로운 공정
NO_3	2,700	300
SO_4	-	2,700
COD	2,700	<15
BOD	1,225	<5

- 경제성 평가 (1988년)

(단위: 1000프랑)

	기존 공정	새로운 공정
원재료	4,686	2,061
유기 용매 회수분		+1,445
인 건 비		+240
특허권 사용료		-
년간 운영비 절감		1,090

새로운 공정의 개발로 질산염과 유기용매에 의한 수질오염을 99.9%까지 줄일 수 있었으며 휘발되는 용매에 의한 대기오염도 60% 줄일 수 있었다. 전체 공정을 설치하는데 1천2백만 프랑(원화로 약 18억원)이 들었으며 시설비 회수에 필요한 기간은 약 11년으로 추산되었다.

사례 3: 비료 산업

원재료(질소, 칼륨, 인산 등)의 배합과정인 입자화 단계는 균일하고 안정하며, 사용에 용이한 비료를 생산하기 위해 필요하다. 이러한 생산공정은 발생하는 폐수의 특성에 따라 2단계로 나눌 수 있다.

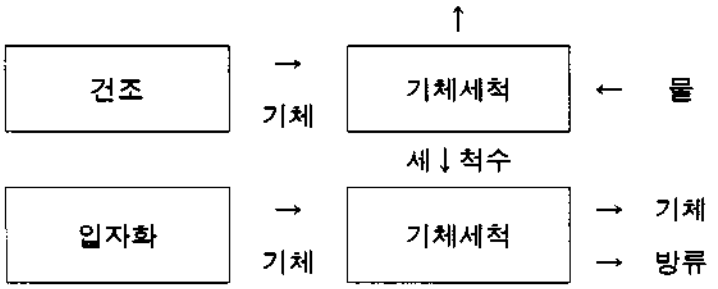
- 입자화 단계
- 건조 단계

적절한 처리를 하지 않으면 건조와 입자화 과정에서 배출된 기체는 오염과 물질낭비를 야기시킬 수 있다. 1984년까지 기체 정화공정을 도입하여 생산공정시 발생하는 오염물의 80%까지 제거할 수 있게 하였다.

그 당시ORKEM과 AZF사는 기존의 방법으로 처리하여 Oise 강으로 방류되던 오염물의 20%를 추가로 제거할 수 있는 청정공정을 개발하여 특허를 보유하고 있었다. 기업간의 경쟁이 치열

해 짐에 따라 SECO사는 이 특허를 자동화, 산업화하기로 결정하였다. 이 새로운 공정의 산업화는 18개월간의 연구 끝에 1986년에 개발이 성공하여 가동되기 시작하였다.

(1) 기존 공정

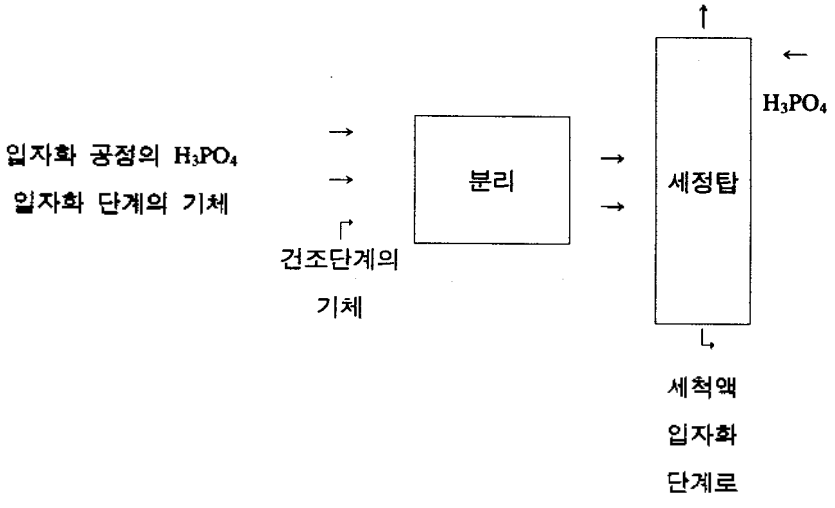


(2) 새로운 공정

새로운 공정의 기본 아이디어는 제조 공정의 원료인 H_3PO_4를 기체 세척과정에 사용하는 것이다. 건조와 입자화단계에서 발생된 기체는 세척공정의 첫 번째 단계로 이송된다. 첫 번째 단계는 분리공정으로 인산을 co-current로 순환시키면서 암모니아의 일부와 불소기체, 미세 먼지를 제거하게 된다. 컬럼 한 개의 사이클론(cyclone)으로 구성된 두 번째 단계에서는 인산용액을 기체의 흐름과 역류(Count-current)로 투입하여 분리공정에서 발생한 기체를 세척하는데, 이러한 과정에서 인산용액이 잔류하는 암모니아를 중화시키게 된다.

인산을 함유한 회수 먼지는 입자화 단계로 보내지고 세척한 용액은 입자화 단계의 반응기로 다시 투입된다.

이 모든 공정은 자동화되어 있다.



(3) 평가

-환경 평가

	방출 성분	기존 공정	새로운 공정
물	방출	Oise 강	0
	고형분(kg/day)	48	0
	질소 함유 물질(kg/day)	646	0
	인산염 함유물질(kg P_2O_5 /day)	1,021	0
	함유물질(kg K_2O /day)	830	0
	산화성 물질(kg/day)	13	0
	독성(kE*)	2.7	0
공기	암모니아(kg/day)	207	150

* kilo equitox: 1 equitox란 독성을 측정하는 단위로서, 작은 연수 갑각류 생물인 물벼룩이 활동할 수 있는 정도의 독성을 만들기 위해 희석되어야 하는 비율을 말한다.

-원재료 평가

	기존 공정	새로운 공정
회수된 제품(kg/day)	0	7,500

-에너지 평가

에너지 소모량(TOE**/day)	기존 공정	새로운 공정
1980	7.3	
1985	-	5.8
1986	-	3.0

** Ton of Oil Equivalent , 1 TOE=107 Kcal

-경제성 평가

투자 총액 (1000프랑;1986년 기준)	4,500	14,564
년간 운영비	기존 공정(천 프랑)	새로운 공정(천 프랑)
-원재료 -에너지 -물 -제조공정 -유지비	236,050 5,845 50 9,000 3,000	234,300 5,100 250 9,000 3,500
-총 운영비	253,945	252,150
고정 비용 -일반 경비 -지방세	7,850 2,950	7,850 3,250
총 고정비용	10,800	11,100
회수 기간(년)		7

이 공정은 수질오염의 감소뿐만 아니라 원재료 회수를 통해 생산성에 있어서도 우수한 제조공정이다. 이 자동화된 조정과정은 노동조건(능률성 유지) 및 안전성(모든 요소의 일정성 유지)을 개선시킨다.

사례 4: 다농의 크림치즈 산업

최고급의 유제품의 경기가 매년 8%씩 성장하였기 때문에 1981년부터 유제산업은 생산증진의 필요성을 느끼게 되었다. 그러는 동안 존재하던 공장은 최대 용량까지 모두 포화가 되었다. 게다가 지방의 낙후성과 함께 노동조건(예를 들어 지방성, 소음 등)의 개선이 문제로 대두되기 시작하였다.

또한 유제 산업의 주된 오염원은 방류수 안에 함유된 유기물 농도의 증가이므로 환경개선을 위한 이의 감소가 해결되어야 문제로 남아 있었다. 따라서 새로운 공정은 다음의 목표에 따라 설계되었다.

-용량의 증진
-생산물의 질에 있어서 현저한 개량
-생산성의 획득

-훌륭한 노동조건

-환경고려

이 프로젝토는 1982년에서 1986년까지 전개되었고 개념 연구(15 개월), 정의 연구(15 개월), 설비 건축(18 개월), 운전 개시(20 개월)의 4 단계로 구성되었으며 투자 금액은 4억 2천 5백만 프랑(약 640억원)이었다.

기존 공장은 1986년 12월에 문을 닫았고, 1987년 1월에 새로운 공장이 처음으로 가동하였다.

(1) 기존 공정

요구르트의 제조는 연속적으로 진행되는 저온 살균공정과 불연속적으로 진행되는 숙성단계의 두 단계로 이루어진 공정이다. 저온 살균공정에서는 교반 생산의 부분적인 순환이 필요한데 이것이 제품의 질을 결정짓게 된다.

(2) 새로운 공정

기존 공정에서는 5%의 원재료 낭비가 있었고 1인당 년간 180톤을 생산할 수 있었다. 그러나 새로운 공정의 도입함으로써 2%의 원재료 낭비, 300톤/1인/년의 생산성 등 원재료의 효율적인 관리 및 생산성에 있어서도 상당한 향상을 이룰 수 있었다. 이러한 변화는 공정변환에 있어서 단순성, 최적성, 자동화의 세 가지 측면에서 행해졌다.

이를 보다 자세히 살펴보면

-단순성: 두 원재료의 사용(탈지유와 크림)은 재고의 관리와 제조를 용이하게 한다.

-최적성: 제품의 균질화 공정이나 회로의 수력학적 측면에서의 변형을 통하여 제품은 최적의 상태를 유지할 수 있다. 따라서 사용되는 우유의 분말가루량을 3% 줄일 수 있게 되었다.

-자동화: 공정의 모든 변수(parameter)를 조절할 수 있고, 일련의 공정을 제어할 수 있게 된다. 또한 시스템의 신뢰성을 증진시키고 원료낭비를 감소시키며, 최종 제품의 질을 개선시킬 수 있다.

(3) 평가

-환경 평가

	방출량	기존 공정	새로운 공정
물	방류량(m^3/year)	676,000	25,000
	고형물(kg/day)	760	300
	BOD(kg/day)	1,220	450
	COD(kg/day)	2,680	1,000
공기	먼지(kg/day)	30	0
	SO_2(kg/day)	575	219
고형 폐기물	(kg/day)	18,000	12,000
소음(dB)	작업장	85	74
	조정실	90	49.5
	건물 100m 밖	52	44

- 원재료 평가(요구르트 생산 100 ton/day기준)

원 재료(ton/day)	기존 공정	새로운 공정
-우유 (지방함유37g/l)	98.8	98.9
-분말 우유	5.2	3.1
(합계)	104.0	102.0

- 에너지 평가

	기존 공정	새로운 공정
에너지 회수(TOE/day)	0	0.23
에너지 소비(TOE/day)	12	20.4 (이 중 2 TOE는 온도조절에 사용)

-경제성 평가

	기존 공정(천 프랑)	새로운 공정(천 프랑)
토지비를 제외한 투자비 (1987년 기준)		525,000
운영비	4.122	4.021
- 원재료	125	161
-에너지	47	
-물		
-인건비	481	313
제조 분야	230	173
관리 분야	5,005	4,668
(총 운영비)		
고정 비용		
-일반 경비	605	564
-지방세 및 보험료	107	52
(총 고정 비용)	712	606

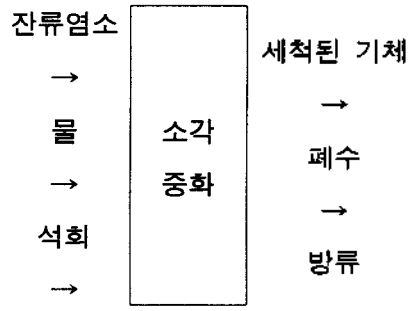
사례 5: 염화제품 제조 공장

프랑스 Saint-Auban지역에 있는 Atochem사 공장은 여러 염화제품을 만드는 회사이다. 이 회사의 방류수는 농가의 생활용수 및 농업용수로 사용되고 있는 듀란강(Durance) 유역의 중요한 오염원이 되어 왔다. 더구나 듀란강은 마르세이유의 음용수를 공급하는데 이용되어 오염에 관한 문제가 보다 심각하게 대두되었다.

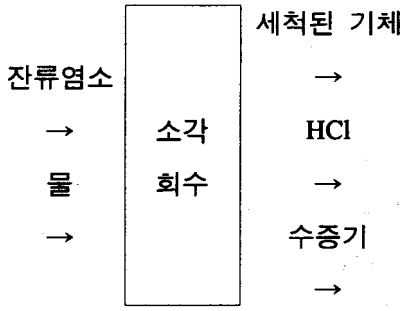
1974년에 처음으로 공장의 각 작업장에서 발생하는 폐수의 량을 줄이기 위한 프로그램이 시작되었다. 그 프로그램의 아이디어는 공정 중에서 발생하는 무거운 잔류 염소를 연소시켜 염산을 회수하는 것이었다. 1975년에 이 공정은 가동되었다.

Fos-sur-mer지역에 있는Atoxhem/Shell 화학회사는 염화비닐의 모노머를 제조하는 공장인데 무거운 잔류염소 같은 부산물이 발생한다. 1980년부터 이 공장은 잔류 염화물을 소각하여 염산을 회수하고 아울러 잔류 염화물이 지닌 열량을 중기로 회수할 수 있었다.

(1) 기존 공정과 새로운 공정의 비교



(a) 기존공정

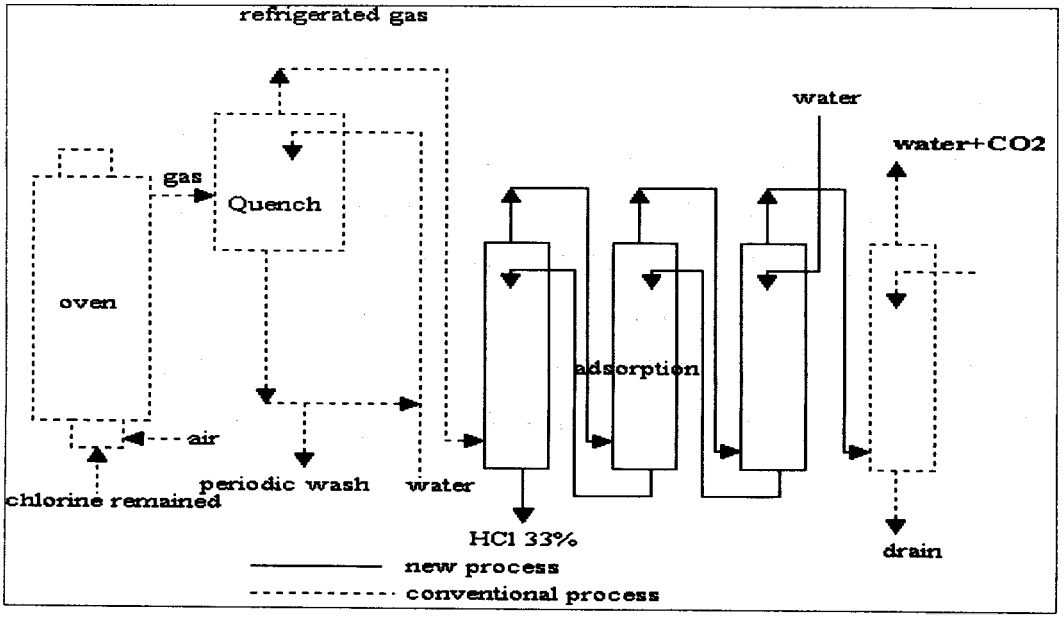


(b) 새로운 공정

(2) 새로운 공정

새로운 공정은 무방류 시스템이어야 하며, 또한 염산이 함유된 용액온 기체의 온도를 안전하게 유지할 수 있어야 하므로 온도변화기에 의한 냉각이 필수적이다. 증발된 염산은 공정 시설의 부식 원인이 되므로 금속 시설물에 대한 주기적인 세척이 필요하다.

냉각된 기체는 역류방식으로 순환되고 3개의 컬럼속에 점진적으로 채워지는 물에 흡착됨에 따라 HCl이 기체속에서 제거된다. 흡착의 끝단계에서는 산온 33%의 HCl로 적정 되고 이것은 상품화할 수 있게 된다. 마지막 컬럼에서 발생한 기체는 소다로 중화된다.



(3) 경제성평가

경제성 평가는 폐염화물을 하루에 45톤 처리하고 1년에 350일 가동하는 경우에 대한 것이다. 아래의 경제성 평가는 하루 생산을 기준으로 하였다.

	기존 공정	새로운 공정
환경 평가		
-물: 방류량(㎥/day)	3,060	67.5
독성(kE/day)	90	-
염화물(t/day)	30	2.5
물질 평가 -공정수(m^3/day)	0	58.5
-소다(t/day)	2.97	2.97
-석회(t/day)	24.7	-
- 33%의 HCl 회수(t/day)	-	90
에너지 평가: -전기(10-3 TOE/day)		
-증기 생산(10-3	900	1,890
TOE/day)	0	135,000
경제 평가		
-투자 (1985기준; 천 프랑)	13,000	20,000
-운영비(천 프랑/년)	6,300	4,500
-염산의 판매액(천 프랑kF/년)	-	5,985

HCl의 회수 시스템은 폐기되는 염화칼슘의 양을 상당히 줄일 수 있었다. 따라서 오염물에 의한 독성을 그만큼 감소시키는 것이 가능하였다. 투자비 측면에서 보면 신 공정은 구공정 개선시키는 경우보다 투자비가 50% 더 소요되었다. 그러나 석회를 소비하지 않고 염산을 회수하므로써 운영비를 상당히 절감할 수 있었고, 수증기를 부산물로 얻을 수 있었다.

염화물을 생산하는 다른 공장에서의 응용이 가능하며 현재 여러 곳에서 이미 실제공정으로 사용되고 있다.