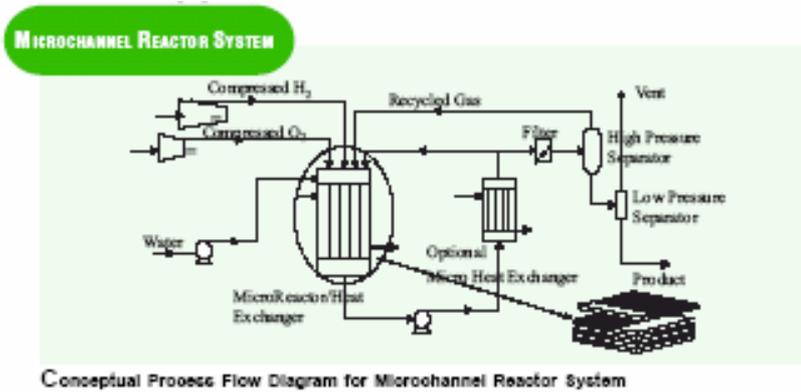


## 미세채널 반응기 시스템 설계

### (MICROCHANNEL REACTOR SYSTEM DESIGN)



미세채널 반응기 시스템을 통한 에너지 및 비용 효율적인 현장(on-site) 과산화수소 생산

과산화수소(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)는 자동산화(autoxidation)로 알려진 공정을 통하여 생산되며 이때 에너지를 많이 소비하는 증류 공정을 거쳐 약 70%의 농도로 생산된다. 대부분의 과산화수소의 응용은 15wt% 정도의 낮은 농도를 사용하여 이루어지기 때문에 저장 및 사용되기 전에 희석되어야 한다. 최종 사용자들은 운송, 저장 및 희석 비용을 절감하기 위하여 현장(on-site) 및 현장요구(on-demand) 농도의 과산화수소 생산 공정에 큰 관심을 보이고 있다. 그러나 수소와 산소를 결합할 때 5% 이상의 수소 농도에서는 혼합물이 가연성이 있거나 폭발 가능성이 있어 일반적인 반응기 시스템에서는 적합하지 않다. 낮은 수소농도에서는 액상에서의 수소 확산속도가 매우 느려서 이를 상쇄하기 위해 고압이 필요하게 되고 이로 인해 에너지를 비효율적으로 많이 사용하게 된다. 용해도를 높이기 위해 황산이나 할로젠화 이온을 첨가하기도 하는데 이 경우 심각한 부식과 오염 문제를 야기한다.

하나의 접근방법은 현장에서 미세채널반응기를 사용하여 저압의 운전조건에서 직접적으로 수소와 산소를 결합하는 것이다. 이러한 반응기는 매우 높은 표면/부피율을 나타내어 열 및 물질전달율을 증가시킨다. 미세채널반응기는 5% 이상의 수소농도에서도 폭발의 위험이 없이 운전될 수 있으며 반면에 낮은 압력과 에너지 효율적 및 안전한 운전이 가능하다. 반응기 시스템의 소형화를 통해 독성 및 폭발성의 화학제품을 현장에서 현장요구에 맞게 생산하는 것에 대한 상당한 가능성이 존재한다. 공정이 성공적으로 현장 적용될 경우 연간 약 5조 Btu의 증기에너지와 3조 Btu의 전기에너지가 절약될 것으로 예측된다. 이러한 절약은 약 10억 달러의 과산화수소 산업의 총 생산 및 이송 비용의 30%에 해당한다.

## 과제 설명

**목표:** 과제는 2개의 상(phase)으로 구성되어 있다. 첫번째 상의 목표는 수소의 촉매산화를 조절하여 진행할 수 있는 실험실 규모의 미세채널 반응기/열교환기 시스템을 설계, 제작, 평가 및 최적화하는 것이다. 이를 통해 폭발범위 이상의 수소농도조건에서 수소와 산소를 저온, 저압에서 직접적으로 결합하여 최대 15%의 과산화수소를 생산할 수 있을 것이다. 일단 성공하게 되면 2번째 상의 목표는 기술을 상용화 하기 위하여 최종 현장 사용자의 요구에 맞는 과산화수소의 생산이 가능하게 하는 것이다.

반응은 대단히 큰 발열반응이며, 이때 미세채널반응기 시스템은 열전달율을 증가시켜 일반적인 반응기의 경우 열적 폭주(runaway)와 폭발을 야기하는 자유 라디칼을 급속 벽 냉각(rapid wall quenching)으로 제어할 수 있다. 물질전달 저항이 없기 때문에 빠른 속도로 반응이 진행할 수 있다.

에너지를 많이 소모하는 자동 산화 시스템은 (1)정화 및 작업 용액의 진공 건조 (2)용제 회수 시스템 (3)다량의 불활성 질소의 압축 (4)미반응 질소의 재압축 공정을 필요로 하는 반면 직접적으로 수소와 산소를 결합하는 방식은 이들을 필요로 하지 않는다. 과제의 공정은 단일 미세채널

반응기로 구성될 것이며 향후 규모를 증대할 때는 적당한 수의 bundled/stacked 미세채널 판으로 구성될 것이다. 이는 기존의 자동산화방식에 비해 간단하고 효율적인 공정이다.

## 장점

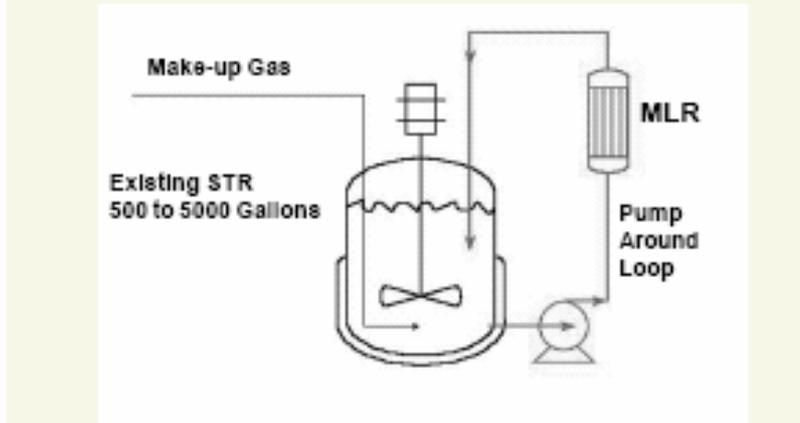
- 연간 5조 Btu의 증기에너지 절감.
- 연간 3조 Btu의 전기에너지 절감.
- 원료 공급시 소모 에너지의 10% 절감.
- 50%의 폐기물 처리비용 절감

## 응용

과산화수소는 매우 다양하게 응용될 수 있다. 현재의 응용은 펄프나 종이의 표백에서 보건의료(health care)에 이른다. 수질정화시 염소에 비해 환경친화적인 물질로 간주되고 있으며, 높은 선택도로 인해 다양한 산소함유 화학제품의 생산에 응용되고 있다. 또한 산화제로도 매우 효율적으로 사용되고 있다.

## CATALYTIC HYDROGENATION RETROFIT REACTOR

### Monolith Loop Reactor (MLR)



### 새로운 고정층 촉매시스템을 통한 에너지 소모 및 위험물 저감

수소화반응은 공업적으로 필수적인 반응이며 주로 대형 교반반응기(stirred tank reactor)에서 슬러리 촉매 시스템을 사용하여 수행된다. 이러한 시스템은 환경오염, 폐기물 생성, 생산성, 산업 위생 및 공정 안정성 등에 대한 여러 문제점을 가지고 있다. 기 설치된 교반형 수소화반응 반응기를 개선하여 모노리스 반복(monolith loop) 반응기(MLR)를 제작할 수 있으며 이 시스템은 12% 정도의 공정 에너지 사용량을 줄이고 위험폐기물 생산을 크게 저감할 수 있으며, 전통적인 슬러리 촉매 반응기에 비해 큰 공정 비용 절감을 가져올 수 있다.

현재의 슬러리 형태의 수소화 촉매는 자연발화성이 있어서 반드시 사람이 다루어야 한다. 이로 인해 잠재적인 위생문제를 포함한 안전성에 대한 문제를 고려하여야만 한다. MLR과 같은 고정층 촉매시스템은 슬러리 촉매의 취급 및 여과공정을 필요로 하지 않아 환경 및 안전 문제의 대부분을 줄일 수 있다. 새로운 MLR 반응기의 개발 연구는 촉매와 촉매 충전 시스템을 개발하고 파일럿 규모의 장치의 설계, 건설 및 시험에 집중되고 있다.

## 과제 설명

**목표:** 기 설치된 슬러시 상의 수소화반응 반응기를 고정층 반응기 시스템으로 개선하는 기술 개발.

이 과제의 연구는 다음의 3가지에 따라 수행된다.

- 1) 새로운 고정층 기질(substrates) 위에서 촉매의 동적특성(dynamics)을 평가하고 최적화
- 2) 시작품 수준의 고정층 촉매의 기하학적 구조 geometries)에서의 물질전달과 반응 동적특성의 평가
- 3) 파일럿 시스템의 설계, 건설 및 평가.

## 장점

- 기 설치된 공정에 비해 11%의 전기사용량 및 12%의 천연가스 사용량 절감.
- 수율 향상.
- 공정 조업 비용 감소

## 응용

이러한 반응기의 개선은 슬러리 촉매반응시스템을 통한 수소화반응기에 적용될 것이다. 수소화반응을 이용하는 화학산업 분야는 특정 및 정밀화학(specialty and fine chemicals), 제약(pharmaceutical), 농예(agricultural) 중간체 등이다. 또한 지방(fats) 및 기름(oils)과 같은 타 분야에도 이 기술이 적용될 수 있다.

참고자료: Project Fact Sheet, OIT, US Department of energy, 2001