

## 메탄올 합성공정의 경제성 평가

한순례, 정연수, 주오심\*, 정광덕\*  
서울시립대학교 화학공학과, 한국과학기술연구원(KIST)\*

### Economic Evaluation of Methanol Synthesis Process

Soon Rye Han, Yonsoo Chung, Oh-Shim Joo\*, Kwang-Deog Jung\*  
Dept. of Chemical Engineering, University of Seoul  
Korea Institute of Science and Technology\*

#### 서론

현재 선진국들이 이산화탄소 배출량에 대해 탄소세를 부과하려는 움직임을 보이고 있는 실정에서 에너지를 많이 사용하는 산업기반을 가진 우리나라는 큰 부담일 수 밖에 없다. 이러한 배출규제에 대비하기 위해서 이산화탄소를 메탄올로 제조하는 공정은 이산화탄소 저감 방법의 하나가 될 것이다. 또한 C1계열의 석유화학 기초 물질인 메탄올은 다른 석유화학제품의 원료로서 사용되고 옥탄가도 높아 석유를 대체할수 있는 연료로도 가치가 있다.

본 연구에서는 지구 온난화를 유발하는 대표적 온실가스인 이산화탄소를 이용한 메탄올 합성공정[4]의 장치 비용을 추정하여 보고 자본 투자 비용과 제조 비용을 계산해 보았다.

#### 본론

##### 1. 메탄올 합성공정(CAMERE공정)

메탄올 합성공정을 상용공정모사기 HYSYS를 이용해 모사하였으며, 상태방정식으로는 무극성이나 약한 극성을 갖는 혼합물에 사용할 수 있는 SRK(Soave-Redlich-Kwang)식을 사용하였다. 메탄올 합성공정은 두 반응기를 중심으로 나누어 생각할 수 있는데 첫 번째 반응기에서 역수성가스전환반응(Reverse water gas shift reaction)이 일어나 일산화탄소와 동일한 몰수의 물이 생성된다. 물은 두 번째 반응기에서 메탄올의 생성을 억제하고 촉매를 비활성화시키는 물질로서 작용한다[1,6]. 흡열 반응인 역수성가스전환반응은 온도가 높을수록 잘 일어나기 때문에 첫 번째 반응기를 통해 나온 생성물에서 물을 제거해 주기 위해서는 먼저 열교환을 통해 온도를 낮추어준 다음 분리 공정을 통해 분리한다. 물이 제거된 합성가스는 두 번째 반응기로 들어가서 메탄올을 생성한다. 일산화탄소와 수소가 1 대 2로 반응하는 메탄올 합성 반응은 발열반응으로 저온 고압인 상태에서 수율이 높다. 수율과 반응속도를 고려한 적절한 온도는 50atm에서 200~250℃로 알려져 있으며 250℃이상이 되면 수율이 급격히 감소한다[4]. 그러므로 발열로 인한 온도 상승을 막기 위해서는 적절한 냉각이 필요하다. 두 번째 반응기를 나온 생성물에서 메탄올 99wt% 이상의 제품을 얻으려면 증류탑을 이용하여 분리하면 된다.

Fig. 1은 메탄올 합성공정의 개략도이다.

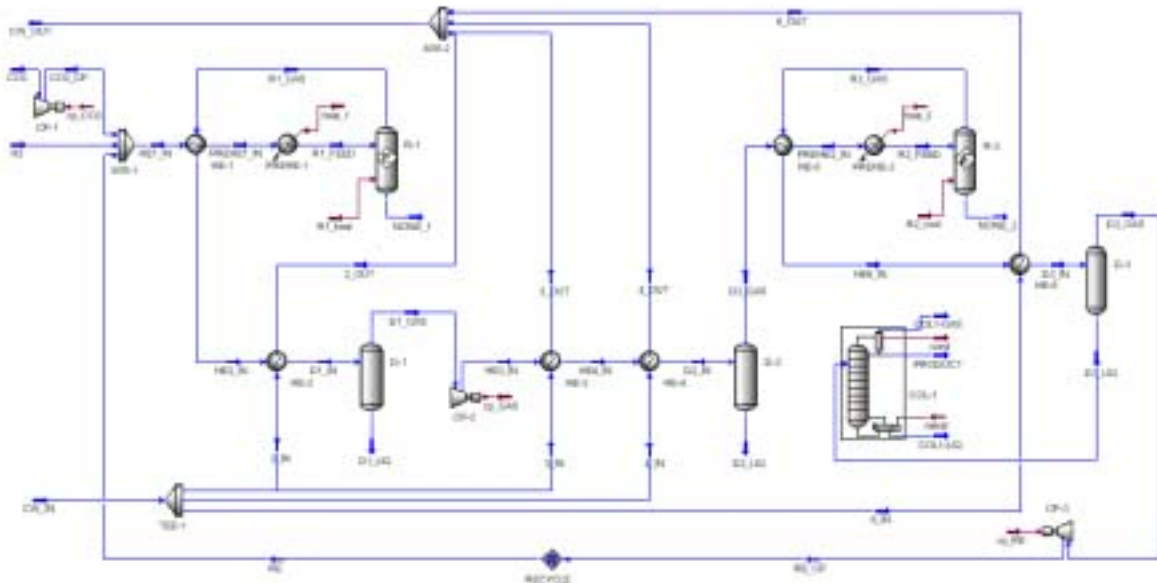


Fig. 1 Flowsheet of CAMERE Process  
(Carbon dioxide hydrogenation to form Methanol via Reverse water gas shift reaction)

## 2. 장치 크기 및 비용

메탄올 합성공정에 사용되는 단위공정의 개수는 혼합 탱크 3개, 예열기 2개, 반응기 2개, 플래쉬 드럼 3개, 열 교환기 6개, 압축기 3개, 증류탑 1개 등이다. 공정의 생산능력은 메탄올 기준 하루 7톤으로 하였다.

장치 비용( $C$ )은 장치 크기( $S$ )에 비선형적으로 증가한다. Guthrie(1969)[3]에 의하면, 비용은  $C = C_0(S/S_0)^\alpha$  또는  $\log C = \log [C_0/S_0^\alpha] + \alpha \log S$  식으로 표현된다. Guthrie[3]의 데이터를 사용하여 계산한 결과에 Update factor(UF)를 고려해 물가 상승을 통한 가격 변화를 적용하였다. 비용의 갱신은 Chemical Engineering 잡지의 Chemical Engineering(CE) Plant Index를 사용하였다[3].

Guthrie's Modular Method는 장치 비용과 관계된 수많은 직접적인 비용과 간접적인 비용을 계산하기 위해서 비용에 간단한 인자를 첨가하는 방법이다. Guthrie(1969)[3]에 의하면, Module factor(MF)는 전형적으로 2.95로 정의되고, 여기에 특별한 물질이나 높은 압력에 대한 Materials and pressur correction factor(MPF)도 정의된다.

이 메탄올 합성공정의 대부분의 단위 공정은 50atm에서 운전되고, HE-1, PREHE-1, PREHE-2, R-1등은 높은 온도에서 조업되므로 스테인레스 스틸을 장치 재질로 결정하였고 나머지 단위 공정의 재질은 카본 스틸로 하여 비용을 추정하였다. 추정 가격은 US \$기준으로 1968년도의 장치 비용을 1.00으로 보았을 때 2000년도의 장치 비용은 3.427(UF)이 된다[3]. 특히 압축기의 장치 비용이 큰 것은 대기압하에 있는 이산화탄소를 반응압력으로 높여주었기 때문이다.

Fig. 1의 공정도에서 나타난 것 같이 혼합 탱크와 플래쉬 드럼은 Utility cost가 존재하지 않고 냉각수를 제외한 공정상의 물질 흐름이 서로 열교환하였을 경우도 계산에서 제외하였다. 대부분의 Utility cost는 역수성가스전환반응을 일으키기 위한 온도 조건과 메탄올의 purity를 위한 분리 공정에서 발생한다.

Table. 1에 전 장치의 모든 인자를 고려한 Capital cost와 Utility cost가 나와 있다.

Table. 1 Cost Estimation (2000년 기준)

장치 이름	장치 종류	BMC(\$)	Capital cost(\$)	Utility cost(\$/yr)
MIX-1	mixing tank	9510	32600	-
MIX-2	mixing tank	7670	26300	-
TEE-1	mixing tank	7640	26200	-
PREHE-1	preheater	17400	59600	234000
PREHE-2	preheater	7320	25100	75900
R-1	reactor	7840	26900	83100
R-2	reactor	740	2550	1550
D-1	flash drum	390	1330	-
D-2	flash drum	40	140	-
D-3	flash drum	650	2220	-
HE-1	heat exchanger	1450	4970	-
HE-2	heat exchanger	770	2620	6010
HE-3	heat exchanger	730	2490	86
HE-4	heat exchanger	730	2500	172
HE-5	heat exchanger	730	2500	-
HE-6	heat exchanger	760	2610	2420
CP-1	compressor	59720	205000	47900
CP-2	compressor	9680	33200	4540
CP-3	compressor	6190	20200	2320
COL-1	vessel	23750	81400	-
	distillation tray stack	1160	3970	-
	column condenser	9250	31700	3150
	reboiler	8880	30400	217000
합계		183,000	626,500	678,148

## 3. 경제성 평가

공정의 경제성 평가는 공정과 관계된 비용인 Fixed cost와 Variable cost로 나누어 생각할 수 있다. Fixed cost는 직접적인 투자로 Capital investment cost이고, Variable cost는 운전 전에 필요한 비용으로 Manufacturing cost이다.

이 메탄올 합성공정은 2300ton/yr의 메탄올이 생성되고 제품 가격이 \$205/ton일때를 기준으로 하여 계산한 결과이다.

Fixed capital	\$407000
Working capital	\$79000
<u>Capital Investment Cost</u>	<u>\$486000</u>
Raw material (@\$540/ton product)	\$1235000/yr
Utility (@\$290/ton product)	\$678000/yr
Labor	
Maintenance	\$24400/yr
Supplies	\$8140/yr
Depreciation	\$32600/yr
Taxes, insurance	\$12200/yr
<u>Total Manufacturing Cost (@\$865/ton product)</u>	<u>\$1990000/yr</u>

원료비는 수소 가격만을 고려하여 나온 값이다. 이산화탄소의 가격을 고려하지 않은 이유는 산업연료사용으로 인한 이산화탄소의 발생량과 발전소에서 방출되고 있는 양도 많기 때문이다. 그러나 약 \$2600/ton인 비싼 수소 가격으로 인하여 메탄올 생산은 많은 원료비가 들게 된다.

### 결론

이 메탄올 합성공정은 이산화탄소의 저감 방법중 하나이다. 하지만 이산화탄소를 반응시키기 위해서는 값비싼 수소가 들어간다. 또한 역수성가스전환반응은 높은 온도를 필요로 하므로 Utility 비용도 만만치가 않다. 수소의 생산 가격을 낮추는 일과 에너지의 효율적 사용으로 이러한 단점을 보완한다면 메탄올 합성공정이 경제적으로 가치있는 공정으로 평가될 것이다. 또한 석유의 대체에너지로서의 메탄올의 부가가치가 높아진다면 지구의 온실효과를 일으키는 주원인인 이산화탄소의 확실한 저감 방법이 될 것이다.

### 참고문헌

- [1] Rozovsky A. Y., "Modern problems in the synthesis of methanol", *Russian Chem.*, 58(1), pp 41-47, 1989
- [2] Biegler L. T., Grossmann E. I., Westerberg A. W., "Systematic Methods of Chemical Process Design", Prentice-Hall, 1997
- [3] Guthrie K. M., (1969, March 24), "Capital cost estimating", *Chemical Engineering*, pp114-142
- [4] 조효은, 정연수, "역수성가스전환반응을 이용한 메탄올 합성공정의 모사", 서울시립대학교 산업기술연구소논문집, 7, pp 189-193, 1999
- [5] 김용건, "온실 가스 배출권 거래 동향 및 대응 방향", 한국환경정책평가연구원
- [6] 한국과학기술연구원, "역수성반응을 이용한 이산화탄소의 수소화반응", 통상산업부, KIST UCM, 1997
- [7] Douglas, J. M., "Conceptual Design of Chemical Processes", McGraw-Hill, 1988