

**메탄올의 분해/합성 반응을 이용한 장거리 열수송 네트워크  
구축 가능성에 대한 이론적 연구**

장인성, 안익균, 한귀영, 문승현\*, 박성열\*, 박민아\*, 이훈\*\*, 윤석만\*\*

성균관대학교, \*한국에너지기술연구원, \*\*한국지역난방공사

**A Theoretical Study on the Feasibility of Long Distance Heat Transport  
Network Using Decomposition/Synthesis of Methanol**

Jang In Sung, An Ik kyoun, Han Gui Young, Moon Seung Hyun\*, Park Sung Youl\*,  
Park Min A\*, Lee Hoon\*\*, Yoon Seok Mann\*\*

SungKyunKwan University, \*Korea Institute of Energy Research,

\*\*Korea District Heating Corporation

**Abstract**

A project is being implemented to develop the long distance energy transport technology using the chemical reactions. This project can be classified into three main research categories covering heat recovery reaction, long distance energy transport, and heat generation reaction. In this study, the methanol is selected as a system material since it shows several unique superior characteristics as follows: gaseous state of reactant and product, large heat of reaction, high yields of reaction at relatively low temperature, and also steady and economical supply. Furthermore, it is anticipated that the outcomes of this study can be widely applied to the related industries. A feasibility study was carried out to evaluate the economics of this technology which study was based on the following case: 10,000 households, 15km distance energy transportation, utilization of waste heat from power plant.

**요약**

메탄올 분해/합성 반응을 이용한 장거리 열수송 시스템에 대한 경제적 타당성 연구를 조사하였다. 본 연구는 열공급처에서 흡열반응을 이용하여 메탄올을 수소와 일산화탄소로 분해하여 이 반응생성물 가스를 수송관을 이용하여 열수요처로 이송한 후 열수요처에서 일산화탄소와 수소를 메탄올로 합성하며, 이 발열반응에서 발생하는 열을 회수하여 온수로 사용하는 개념이다. 메탄올 분해/합성 반응은 상대적으로 낮은 온도와 낮은 압력 그리고 높은 전환율을 이용한 장거리 열수송 반응의 대표적인 반응이 될 수 있다. 본 연구에서는 열공급처에서 15 km 떨어진 장소에서 1만 가구에 필요한 온수를 공급하기 위한 시스템의 설계 및 경제성을 검토하였다.

**1. 서론**

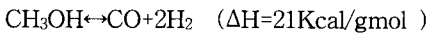
일반적으로 에너지는 생산, 수송, 저장, 이용의 단계를 거치는데 각 단계마다 손실이 발생하며 환경오염물질이 유발된다. 2005년도 국내의 총에너지 소모량은 석유로 환산할 때 약 2억 2천만 TOE이며 이중 절반 정도가 손실되고 있으며 손실형태는 대부분이 열에너지이다. 또한 날로 심각해져 가는 지구환경오염문제로 세계 각국은 에너지를 다변화하고 청정화하며 환경보호를 전제로 한 대체에너지 기술개발에 국가적 차원의 대규모 연구개발에 박차를 가

하는 한편 에너지 생산과 이용을 지리적으로 분리함으로써 환경문제를 해결하고 에너지 생산시에 손실되는 많은 양의 에너지를 회수하는 연구가 최근 각광을 받고 있다. 그러나 이 방법은 에너지 수송의 장거리화와 에너지 수송시의 동력저감이 필수적이다.

이를 위한 기술로 화학적 에너지 수송기술이 일본을 비롯하여 선진국에서 집중적으로 연구중인 바, 화학적 에너지 수송방법은 Heat Pump 또는 Heat Pipe 개념을 이용한 것으로서 적용하는 반응계에 따라 에너지를 회수하는 온도와 공급하는 온도를 조절할 수 있을 뿐만 아니라 수송시 동력손실과 열손실이 적으며 발전소 배가스, 도시 미이용 폐열, 공정폐열 등 다양한 열원으로부터 에너지를 회수할 수 있는 방법이다. 화학적 에너지 수송에 이용할 수 있는 화학반응은 이론적으로 가역반응은 모두 가능하나 실제공정에 적용하기 위해서는 다음과 같은 조건을 만족해야 한다.

- ① 반응이 원하는 온도범위 내에서 진행되어야 한다.
- ② 정반응, 역반응 모두 높은 수율을 가지고 반응속도가 커야 한다.
- ③ 반응열의 출입이 커야 한다.
- ④ 반응물이 장기간 안정해야 하고 반응물과 생성물의 분리가 쉬워야 한다.
- ⑤ 부반응이 적고 반응경로가 간단해야 한다.

이상에서 언급한 여러 가지 조건을 만족하는 반응들 중에서 저온의 배가스로부터 열회수를 하여 장거리 열수송에 이용할 수 있는 반응으로는 아래와 같은 메탄올의 분해/합성 반응이 가장 유망한 것으로 판단된다.



메탄올의 분해/합성기술은 기술의 파급효과가 크고 반응물과 생성물의 분리가 용이하며 분해생성물이 기체로 수송이 가능할 뿐만 아니라 또한 반응이 저온에서 진행되고 메탄올의 가격이 저렴하다는 등 여러 가지 장점이 있어 기술개발 속도가 가속화될 전망이다.

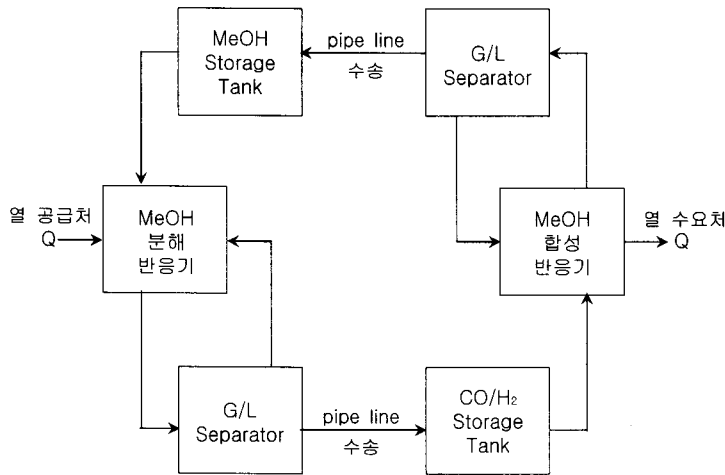
본 연구에서는 전체 연구내용을 메탄올의 분해반응, 메탄올의 합성반응, 그리고 이들 두 반응 시스템의 연결(장거리 수송) 3가지로 크게 분류하였으며 1만가구의 도시를 모델로 하여 필요한 반응기 및 부대 설비 등의 규모를 산출하였으며 전체 시스템의 경제성 및 타당성 검토를 수행하였다.

## 2. 시스템 구성 및 전제조건

본 연구에서는 발전소와 같은 대형 폐열이 발생하는 곳에서 메탄올의 분해를 통하여 저온(약 200℃)의 폐열을 회수하는 동시에 회수된 에너지를 장거리 수송(15Km)하여 합성반응으로 에너지를 공급하는 시스템의 타당성 및 경제성 평가를 위하여 [그림 1]과 같은 시스템을 구성하고 시스템의 물질 및 에너지 수지를 1만가구의 모델도시에 대해 아래와 같은 전제조건하에서 세웠다.

### 가. 전제조건

- 수송거리 : 15Km,
- 공동주택 세대당 필요열량 =  $51.4 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{hr} = 450.3 \text{ Mcal/m}^2 \cdot \text{yr}$
- 1인가구 난방 면적 :  $50 \text{ m}^2$
- 1만가구에 필요한 공급 열량 :  $10^8 \text{ Mcal/yr} = 29.9 \text{ MJ/sec} (29.9 \text{ MW})$



[ 그림 1. 메탄올 분해/합성을 이용한 장거리 열수송 시스템 개요 ]

### 3. 메탄올 분해반응부 설계

열 공급처에서 공급되는 열을 메탄올의 분해반응에 적용하기 위한 메탄올 분해반응부의 설계를 위하여 다음과 같은 항목에 대한 물질 수지식 및 에너지 수지식을 이용하여 필요한 설계 자료를 도출하였다.

- 가. 분해반응기 크기 결정을 위한 Recycle Rate 결정
- 나. 분해반응시의 열전달 문제
- 다. 분해반응기의 크기결정
- 라. 분해반응기의 촉매충진량
- 마. 분해반응에 필요한 촉매량 계산

### 4. 메탄올 합성반응부 설계

메탄올 분해반응의 결과로 생성된 일산화탄소와 수소를 합성하여 메탄올로 변환하는 화학반응에서 발생하는 발열을 회수하여 이를 온수로 공급하기 위한 메탄올 합성반응부의 설계를 위하여 다음과 같은 항목에 대한 물질 수지식 및 에너지 수지식을 이용하여 필요한 설계 자료를 도출하였다.

- 가. 합성반응기의 크기 결정을 위한 Recycle Rate 결정
- 나. 합성반응기의 크기결정
- 다. 최대 생성가능한 온수의 양

## 5. 메탄올/반응기체 수송부 설계

메탄올 분해반응이 일어나는 열 공급처와 메탄올 합성이 일어나는 열 수요처간의 장거리를 수송해야 하는 메탄올 및 수소/일산화탄소의 수송 동력을 계산하였다.

가. 생성가스의 수송동력 계산

나. 합성된 메탄올의 수송 동력계산

## 6. 경제성 검토

본 시스템의 경제성 검토를 위하여 시스템에 필요한 장치비, 그리고 이를 바탕으로 초기 투자비, 운전비용을 계산하였고, 이로부터 제안된 시스템의 경제성 평가를 하였다.

가. 장치구입비

* 분해공정	
· 분해 반응기(예비1기 포함)	\$ 150,000 x 4 set = \$ 600,000
· 메탄올 응축기	\$ 16,000 x 1 set = \$ 16,000
· 메탄올 저장조	\$ 10,000 x 1 set = \$ 10,000
· Pump	\$ 4,000 x 10 set = \$ 40,000
* 합성공정	
· 합성반응기(예비1기 포함)	\$ 50,000 x 4 set = \$ 200,000
· Feed Gas Compressor	\$ 300,000 x 1 set = \$ 300,000
· Recycle Gas Compressor	\$ 500,000 x 1 set = \$ 500,000
· Heat Exchanger	\$ 50,000 x 8 set = \$ 400,000
· Pump	\$ 4,000 x 10 set = \$ 40,000
* 수송공정	
· Gas Transport Pump (Turbo Blower)	\$ 400,000 x 6 set = \$ 2,400,000
· MeOH Transport Pump	\$ 20,000 x 1 set = \$ 20,000
· Gas Piping	\$ 30/ft x 6열 x 50,000 = \$ 9,000,000
· MeOH Piping	\$ 10/ft x 1열 x 50,000 = \$ 500,000
<b>Total Equipment Cost</b>	<b>= \$ 14,026,000 (약 130억원)</b>

나. 초기투자비 계산

장치비의 약 3.0배 ( Lang Factor = 3.0) 로 약 390억원이었다.

다. 운전비 계산

- 1) 원료비
- 2) 인건비
- 3) 동력비
- 4) 보수유지비
- 5) 촉매비용을 계산하였으며, 1년에 약 55억이 소요되었다.

라. 경제성 평가

이 시스템을 통하여 1만가구에 난방 및 온수에 필요한 에너지를 공급할 경우에 얻을 수 있는 경제적 이익을 계산하였다. 1만가구의 연간 온수비용은 10,000 가구 x 1,000,000 원 = 100억원이다. (※ 겨울, 11월~3월, 12만원, 연간 약 100만원 지역난방공사 제시)  
그러므로 경제적 이익은 총매출- 총 비용으로서, 100억원 - 55억원 = 45억이다. 즉, 일년에 약 45억의 이익이 발생한다고 볼 수 있다.

또한 이 시스템의 투자회수율 ( Return on Investment)을 계산해보면,

$$R.O.I = 45억 / 390억 = 0.115 (11.50\%) \text{ 이며}$$

또한 투자비에 대한 Payout Period를 계산하면,

$$Payout \ Period = 390억 / (45억/year) = 8.7 \text{ year 이다.}$$

## 7. 결론

화학반응을 이용한 장거리에너지 수송기술 개발을 위해 이용가능한 촉매반응들 중 메탄올의 분해/합성반응을 선정하였고 전체 연구내용을 분해에 의한 열회수 반응, 에너지 장거리 수송기술, 합성에 의한 열공급기술로 분류하였으며 시스템의 타당성과 경제성 검토를 위해서 1만가구의 도시를 모델로 하여 에너지 사용량과 이를 충족시키기 위한 열원으로 15Km 거리의 발전소 펌프를 대상으로 하여 다음 <표 1>과 같은 결과를 얻었다.

<표 1> 메탄올의 분해/합성반응을 이용한 장거리 에너지 수송기술의 타당성 검토결과

대분류	세부항목	계산결과
기본사항	1. 필요한 열량	2,251 * 10 <sup>8</sup> Mcal/yr
	2. 필요한 메탄올 합성량	940 Ton/day
	3. 합성반응 Recycle Rate	3,760 Ton/day
	4. 분해반응 Recycle Rate	373 Ton/day
	5. 분해반응기 크기	Shell&Tube Type Diameter 5m
	6. 분해반응 촉매 충전량	7.59 Ton
	7. 합성반응기 크기	42.30m <sup>3</sup>
	8. 합성반응기 촉매충진량	76.15 Ton
	9. 냉각수 유량	10.80 Kg/sec
	10. 최대공급가능 온수량	8,244Ton/day

동력 및 부대시설	11. 기체수송동력 12. 기체수송량 13. 기체압축동력 14. 미반응합성가스 압축동력 15. 메탄올 수송동력 16. 메탄올 저장탱크 크기 17. 메탄올 분리 증류탑	850 Hp 1,389 m <sup>3</sup> /min 457KW 69,205KW 1,208 Hp 1,186m <sup>3</sup> Sieve-Tray Column D=2m, H=15m, 간격=60cm
경제성 평가	18. 초기투자비 19. 운전유지비 20. Return on Investment 21. Payout Period	390억 55억/년 11.5% 8.7년

전체조건 : 1만가구,  
 주택구성 : 공동주택 100%,  
 1주택 : 인구 4인, 수송거리 : 15Km,  
 가스수송관 직경 : 20in., 메탄올수송관 직경 : 2in.

### 참고문헌

1. Peters, M. S.; Timmerhaus, K. D. Plant Design and Economics for Chmical Engineers, Mcgraw Hill, 1990, 4th edition.
2. Perry, R. H.; Green, D. Perry's Chemical Engineers' Handbook, Mcgraw Hill, 1984, 6th edition.
3. Leach, B. E. Applied Industrial Catalysis, Academic Press, 1983, Vol.2.
4. Satterfield, C. N. Heterogeneous Catalysis in Industrial Practice, Mcgraw Hill, 1991, 2nd edition.
5. Brownell, L. E.; Young, E. H. Process Equipment Design - Vessel Design, John Wiley & Sons Inc., 1959.