

# SEWGS 공정을 위한 유동층 반응기에서 내부 삽입물의 모양이 WGS 촉매의 CO 전환율에 미치는 영향

류호정<sup>†</sup> · 김하나 · 이동호 · 진경태 · 박영철 · 조성호

한국에너지기술연구원

## Effect of Bed Insert Geometry on CO Conversion of WGS Catalyst in a Fluidized Bed Reactor for SEWGS Process

HOJUNG RYU<sup>†</sup>, HANA KIM, DONGHO LEE, GYOUNGTAE JIN, YOUNGCHEOL PARK, SUNGHO JO

Korea Institute of Energy Research, Daejeon, 305-343, Korea

**Abstract** >> To enhance the performance of SEWGS system by holding the WGS catalyst in a SEWGS reactor using bed inserts, effect of bed insert geometry on CO conversion of WGS catalyst was measured and investigated. Small scale fluidized bed reactor was used as experimental apparatus and tablet shaped WGS catalyst and sand particle were used as bed materials. The cylinder type and the spring type bed inserts were used to hold the WGS catalysts. The CO conversion of WGS catalyst with the change of steam/CO ratio was determined based on the exit gas analysis. Moreover, gas flow direction was confirmed by bed pressure drop measurement for each case. The measured CO conversion using the bed inserts showed high value comparable to previous results even though at low catalyst content. Most of input gas flowed through the bed center side when we charged tablet type catalyst into the cylinder type bed insert and this can cause low CO<sub>2</sub> capture efficiency because the possibility of contact between input gas and CO<sub>2</sub> absorbent is low in this case. However, the spring type bed insert showed good reactivity and good distribution of gas, and therefore, the spring type bed insert was selected as the best bed insert for SEWGS process.

**Key words** : SEWGS(회수증진수성가스화), WGS(수성가스화), Catalyst(촉매), CO conversion(CO 전환율), Insert(내부 삽입물)

### Nomenclature

$U$  : gas velocity, m/s  
 $U_{mf}$  : minimum fluidization velocity, m/s  
 $\Delta P_b$  : bed pressure drop, mmH<sub>2</sub>O

### 1. 서 론

석탄가스화복합발전(IGCC, Integrated Gasification Combined Cycle)에 적용하기 위한 연소 전 CO<sub>2</sub> 회수기술의 하나인 회수증진 수성가스화(SEWGS, sorption enhanced water gas shift) 기술은 기존 연소 전 건식 CO<sub>2</sub> 회수공정의 세 가지 공정(고온수성가스화, 저온수성가스화, CO<sub>2</sub> 분리)을 두 개의 공정(SEWGS, 재

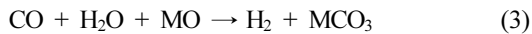
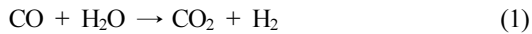
<sup>†</sup>Corresponding author : [hjryu@kier.re.kr](mailto:hjryu@kier.re.kr)

[ 접수일 : 2013.8.30 수정일 : 2013.10.20 게재확정일 : 2013.12.31. ]

[사용한 촉매 관련 회사명, 상품명 적시사항을 삭제: 2022.11.1. 수정]

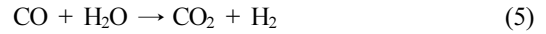
Copyright © 2013 KHNES

생)으로 대체할 수 있어 경제성이 향상될 것으로 예측되고 있는 기술이다<sup>1-3)</sup>. SEWGS 시스템의 운전을 위해서는 SEWGS 반응기와 재생반응기가 필요하다. SEWGS 반응기 내부에는 수성가스화반응(WGS, water gas shift) 촉매와 CO<sub>2</sub> 흡수제가 함께 장입되어 있다. SEWGS 반응기에서는 식 (1)과 같이 합성가스에 포함된 CO와 수증기가 반응하면서 수소와 이산화탄소로 전환되며, 발생된 이산화탄소는 식 (2)와 같이 반응기 내부에 촉매와 함께 존재하는 금속산화물(MO) 형태의 CO<sub>2</sub> 흡수제에 의해 금속탄산염(MCO<sub>3</sub>) 형태로 고체에 흡수된다. 이와 같은 반응에 의해 기체상태의 CO<sub>2</sub> 분압이 낮아지므로 식 (1)의 반응은 정반응(수소생산)이 더욱 우세해지며 수소수율을 향상시킬 수 있다. SEWGS 반응기에서 일어나는 반응의 총괄반응식은 식 (3)과 같으며 기체생성물은 수소와 미반응 수증기(excess steam) 뿐이므로 미반응 수증기를 응축하여 제거하면 별도의 분리 설비 없이 고농도의 수소를 얻을 수 있다<sup>4,5)</sup>.



where M : metal

재생반응기에서는 식 (4)와 같이 MCO<sub>3</sub>를 열에 의해 MO로 다시 전환하여 SEWGS 반응기로 재순환시켜 반복적으로 사용하게 된다. 재생반응기에서 배출되는 기체는 열원으로 사용되는 수증기(또는 CO<sub>2</sub>)와 재생과정에서 발생하는 CO<sub>2</sub> 뿐이므로 수증기를 응축하여 제거하면 별도의 분리설비 없이 고농도의 CO<sub>2</sub>를 분리할 수 있다. 식 (3)과 식 (4)를 함께 고려하면 SEWGS 시스템의 총괄반응은 식 (5)와 같으며 식 (1)에 표시된 수성가스화 반응식과 같아지게 된다.



한편, 재생반응기는 SEWGS 반응기보다 높은 온도에서 조업되며, CO<sub>2</sub> 흡수제를 재생시키는 역할을 하는 반응기로서 WGS 촉매는 별다른 반응을 거치지 않게 된다. 따라서 재생반응기에서 WGS 촉매의 고온노출에 의한 활성저하를 방지하고 재생반응기에 순환되는 CO<sub>2</sub> 흡수제의 순환량을 증가시켜 재생효율을 증가시키기 위해서 WGS 촉매는 SEWGS 반응기에만 존재하고, CO<sub>2</sub> 흡수제만 선택적으로 재생반응기로 순환시켜 재생반응을 할 수 있는 공정구성이 필요하다. 하지만 현재까지 개발된 유동층 SEWGS 시스템의 경우 SEWGS 반응기에 WGS 촉매와 CO<sub>2</sub> 흡수제를 입자형태로 함께 장입하고 SEWGS 반응기와 재생반응기 사이를 두 입자(촉매, 흡수제)가 함께 순환하는 공정을 사용하고 있다<sup>6,7)</sup>.

이와 같은 단점을 극복하기 위해 Ryu 등<sup>8)</sup>은 SEWGS 공정의 효율증대를 위한 방안으로 내부 삽입물을 사용하여 WGS 촉매를 SEWGS 반응기 내에만 고정하는 방법을 제안하였으며 내부 삽입물의 형태와 WGS 촉매 형태에 따른 CO 전환율 변화를 측정하여 가능성을 시험하였다. 그들의 실험결과에서 내부 삽입물을 설치한 결과, 내부 삽입물에 입자 형태의 촉매를 장입할 경우 반응기체가 입자층 안쪽으로 유입되기 어려우므로 촉매의 이용율이 낮아 CO 전환율이 다소 낮게 나타났으며 내부 삽입물에 tablet 형태의 촉매를 장입하였을 경우 CO 전환율은 높게 나타났으나 대부분의 기체가 촉매층으로 흐르게 되며 이로 인해 CO<sub>2</sub> 흡수제와의 접촉이 저하되므로 CO<sub>2</sub> 흡수 측면에서는 불리한 것으로 나타났다. 따라서 Ryu 등<sup>8)</sup>은 촉매층을 수직으로 적치한 형태 보다는 주입된 기체가 촉매층과 CO<sub>2</sub> 흡수제층을 번갈아가며 흐를 수 있도록 하기 위한 방법으로 수평형 내부 삽입물을 제안하였다.

본 연구는 WGS 촉매를 SEWGS 반응기에만 존재 하도록 하기 위한 두 번째 연구로서 Ryu 등<sup>8)</sup>이 제안 한 수평형 내부 삽입물과 또 다른 아이디어를 함께 시험하기 위해 내부 삽입물의 모양 변화에 따른 WGS 촉매의 CO 전환율 변화를 측정 및 고찰하였다. 또한 Ryu 등<sup>8)</sup>의 실험결과와의 비교를 통해 보다 우수한 내부 삽입물을 선정하고자 하였다. 또한 내부 삽입물 의 변화에 따라 삽입물 외부의 유속변화에 따른 층 압력강하를 측정하여 주입된 기체의 주된 흐름방향 을 분석하였으며 이를 바탕으로 CO<sub>2</sub> 흡수반응에 미 치는 영향도 함께 분석하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험장치

Fig. 1에는 내부 삽입물의 종류와 steam/CO 비 변 화에 따른 CO 전환율 변화를 측정하기 위해 사용한 회분식 유동층 반응기를 나타내었다. 유동층 반응기 는 주 반응기, 스팀생산을 위한 물 주입 펌프, 기체를 주입하기 위한 질량유량계(MFC) 및 MFC controller, 반응기 온도를 제어하기 위한 히터와 온도조절기, 내 부온도를 측정하기 위한 열전대(K-type)와 온도표시

기, 층의 압력강하를 측정하기 위한 차압형 압력 변 환기와 압력표시기, 배출된 기체에 포함된 수분을 응 축하기 위한 냉각장치, 배출기체의 농도분석을 위한 기체 분석기 등으로 구성되어 있다.

주 반응기인 기포유동층은 내경 0.05m, 두께 0.003m, 높이 0.76m의 스테인레스 스틸(SUS 310) 로 제작하 였다. 스팀생산 및 주입을 위해 물 주입 펌프(Series 1500, Lab Alliance Co.)를 사용하였으며, 유동화 기 체는 가스미터로 보정된 질량유량계와 MFC controller 를 통해 반응기 하부로부터 0.015m 높이에 설치된 기체분산관(sparger, 0.004m I.D.)으로 주입하였다. 기체분산관에는 1mm의 구멍이 5mm 간격으로 양쪽 으로서 10개 씩 총 20개 뚫려있어 주입되는 기체를 분 배하는 역할을 하게 된다. 유동층 내부의 온도는 반 응기 상부에서 열전대(K-type)를 삽입하여 반응기 바 닥으로부터 높이 0.1m에서 측정하였다. 유동층의 압 령강하는 반응기 바닥으로부터 높이 0.055m와 0.305m 및 0.055m와 0.755m에 설치 된 압력탭에 연결된 차 압형 압력변환기를 사용하여 측정하였다. 회분식 유 동층 반응기에서 배출되는 기체농도의 분석을 위해 온라인 기체분석기(Hartmann & Braun Co., Advanced Optima)를 사용하였으며 CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>, NO 의 농도를 실시간으로 측정 및 기록하였다. 실험장치 에 대한 자세한 설명은 기존 보고<sup>9-11)</sup>에 나타나 있다.

### 2.2 WGS 촉매 및 모래

WGS 촉매로는 시판중인 상용 WGS 촉매를 사용 하였다. 상용 WGS 촉매의 주성분은 CuO, ZnO,

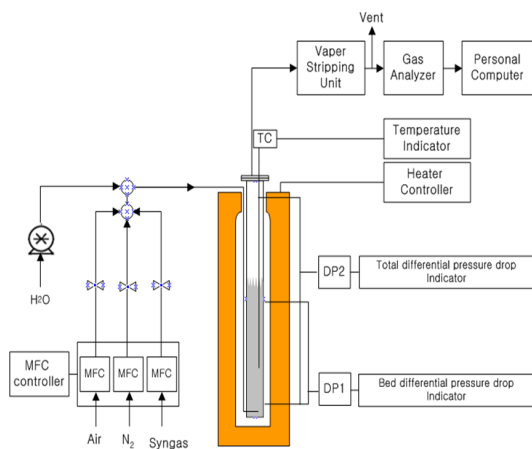


Fig. 1 Schematic of a batch type fluidized bed

Table 1 Shape, size and bulk density of catalyst and sand

Particle or tablet	WGS catalyst (commercial)	Sand
Shape/size	Tablet 3.2mm O.D. 3.2mm H	Particle 106~212 μm
Bulk density [kg/m <sup>3</sup> ]	1286	1258

$Al_2O_3$ 이며, 직경 3.2mm, 높이 3.2 mm의 tablet 형태를 갖고 있다.

실제 SEWGS 반응기 내에는 WGS 촉매와  $CO_2$  흡수제가 함께 존재하지만,  $CO_2$  흡수제의 경우 합성가스에 포함된  $CO_2$ 와 반응하여 배출기체의 구성에 영향을 미칠 수 있으므로  $CO_2$  흡수제 대신 불활성 물질인 모래( $106\sim 212\mu m$ )를 사용하여 실험하였다.

모래와 WGS 촉매의 크기(입도분포) 및 벌크밀도를 요약하여 Table 1에 나타내었다.

### 2.3 내부 삽입물

Fig. 2에는 WGS 촉매를 반응기 내에 고정하기 위해 본 연구에서 새롭게 고안된 두 가지 내부 삽입물의 개략도를 나타내었다. 내부 삽입물들은 실린더 모양의 구조물이 수평방향으로 지그재그로 설치된 형태(이하 실린더 형태)와 스테인레스 스틸로 제작된 스프링 내부에 tablet을 넣어 고정한 형태(이하 스프링 형태)의 두 가지 형태로 제작하였으며 Fig. 1에 나타난 내경 0.05m의 실험장치 내부에 설치가 가능하도록 하였다. 실린더 형태 내부삽입물의 경우 실린더

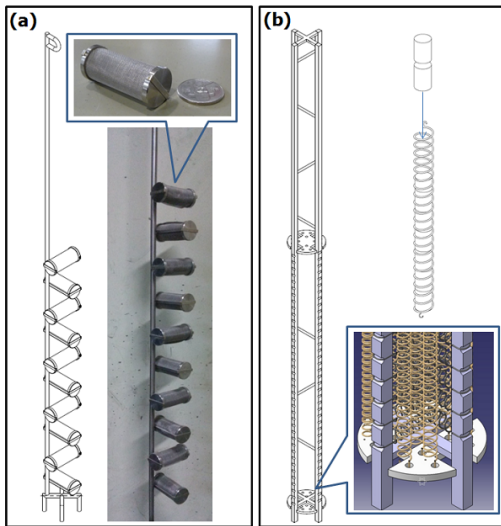


Fig. 2 Schematic of bed inserts used in this study, (a) cylinder type, (b) spring type

의 외부는 간극(aperture)이  $75\mu m$ 인 스테인레스 재질의 망(mesh)으로 제작하였으며 지지대에 실린더를 고정할 수 있는 핀을 0.037m 간격으로 10개를 설치하였고 실린더 내부에 tablet 형태의 WGS 촉매를 장입한 후 고정핀에 고정하였다. 실린더 1개당 11g의 촉매를 장입할 수 있었으며 총 110g의 촉매를 고정할 수 있었다. 스프링 형태 내부 삽입물의 경우 간격 0.395m의 지지체에 tablet 형태의 촉매 직경보다 약간 큰 내경(0.004m)을 갖는 스프링을 총 16개의 설치하여 스프링 내부에 촉매를 수직으로 적치하였다. 스프링 1개당 7g의 촉매를 장입할 수 있었으며 총 112g의 촉매를 고정할 수 있었다.

### 2.4 수성가스화 반응 실험조건

각각의 내부 삽입물을 설치한 경우에 대해 steam/ $CO$  비를 변화시키면서 Table 2와 같은 조건에서  $CO$  전환율을 측정하였다. 수성가스화 반응은  $200^\circ C$ , 상압에서 수행하였고 합성가스로는  $CO$  65%,  $CO_2$  1.5%,  $H_2$  29.5%,  $N_2$  4%의 조성을 갖는 모사 합성가스를 사용하였다. 본 연구에 사용된 모사합성가스는 Shell사의 석탄 가스화기에서 배출되는 합성가스의 조성( $CO : CO_2 : H_2 = 63.4 : 1.5 : 28.4$ )과 유사한 값으로 선정하였다<sup>12)</sup>. 합성가스의 유량은  $0.7Nl/min$ 으로 주입하였으며 steam/ $CO$  비가 2, 3, 4, 5로 증가함에 따라 주입되는 스팀의 유량은 0.91, 1.36, 1.81, 2.26  $Nl/min$ 으로 변화되었으며 공탑속도는 0.023, 0.03, 0.037, 0.044m/s로 변화되었다. 기존 연구<sup>8)</sup>에서 사용한 parallel wall type과 cross type에 비해 본 연구에서 사용한 실린더 형태 및 스프링 형태의 경우 고정할 수 있는 촉

Table 2 Summary of experimental conditions

Case No.	1	2
Bed insert	Cylinder type	Spring type
Catalyst shape	Tablet	Tablet
Catalyst/Sand mixing ratio	1:9	1:9

매량에 제한이 있어 기존 연구의 촉매:모래 비율(1:3 또는 1:5)에 비해 적은 양의 촉매(1:9)를 사용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 촉매 전처리

WGS 촉매가 수성가스화 반응성을 나타내기 위해서는 촉매를 환원상태로 전환시키는 전처리 과정이 필요하며 일반적으로 수소와 반응시키는 과정을 거치게 된다. 본 연구에서 WGS 촉매의 전처리는 Fig. 1에 나타난 회분식 유동층 반응기에서 수행하였다. 먼저 tablet 형태 촉매 1kg을 장입한 후 반응기 내부의 기체 및 수분을 제거하기 위해 2N//min의 질소를 주입하면서 400℃까지 상승시켰다. 반응기 내부 온도가 400℃가 되면 H<sub>2</sub>(57%, N<sub>2</sub> balance)를 0.04m/s의 유속으로 주입하였다.

Fig. 3에는 tablet 형태의 WGS 촉매에 대해 수소에 의한 전처리 과정동안 시간에 따라 측정된 배출기체의 농도 변화를 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이, 초기에는 주입되는 수소가 모두 촉매의 환원반응에 사용되어 수소가 검출되지 않았으며, 촉매의 환원반응이 종료되면 수소농도가 증가한 후 일정한 값

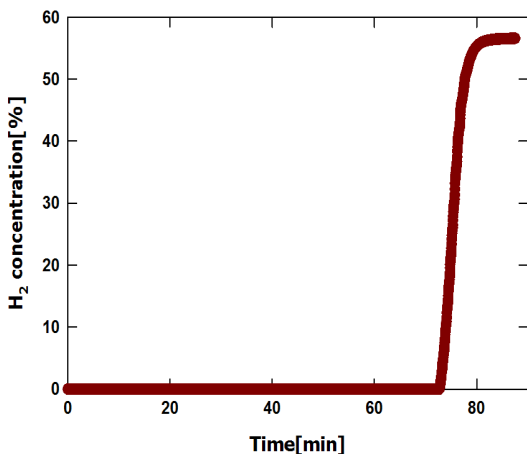


Fig. 3 H<sub>2</sub> concentration profile during pretreatment of WGS catalyst with hydrogen

을 나타내었다. 이와 같이 시간에 따른 수소 농도의 파과곡선(breakthrough curve)을 통해 WGS 촉매의 전처리(환원반응)가 종료되었음을 확인하였다.

#### 3.2 수성가스화 반응

Fig. 4에는 200℃, 상압 조건에서 steam/CO 비의 변화에 따라 측정된 Ryu 등<sup>8)</sup>의 실험결과에서 우수한 성능을 나타내었던 내부 삽입물을 사용한 결과와 본 연구의 실험결과를 비교하여 나타내었다. 내부 삽입물 변화에 따른 반응성 해석을 위해 합성가스에 포함된 CO가 WGS 반응에 의해 수소로 전환되는 백분율인 CO 전환율을 고려하였으며 배출기체의 농도를 바탕으로 물질수지를 해석하여 식 (6)과 같이 계산하였다.

$$\text{CO conversion} = \frac{\text{Moles of consumed CO}}{\text{Moles of input CO}} \times 100 [\%] \quad (6)$$

Fig. 4에서 Ryu 등<sup>8)</sup>의 결과는 1) WGS 촉매와 모래를 1:3의 비율로 물리적으로 혼합한 경우(physical mixing), 2) parallel wall 형태를 가지며 삽입물의 벽체가 75μm의 금속망으로 되어 있는 PW-0075 내부 삽입물 내부에 입자형태(106~212μm) 및 tablet 형태

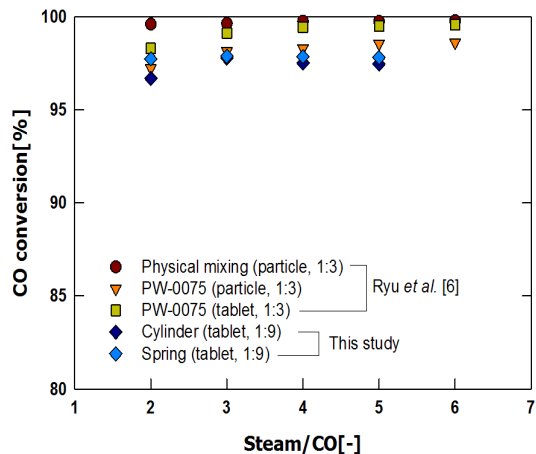


Fig. 4 Effects of steam/CO ratio and bed insert on CO conversion of WGS catalyst

의 촉매를, 외부에는 모래를 무게비 1:3으로 장입한 경우의 실험결과이며, 본 연구의 경우 촉매와 모래의 무게비 1:9인 조건, 즉 촉매의 함량이 더 적은 조건에서 측정된 결과이다. 일반적으로 유동층 반응기를 이용한 WGS 반응에서 촉매함량이 감소함에 따라 CO 전환율은 감소하는 것으로 보고되고 있다<sup>11)</sup>. 그럼에도 불구하고, 그림에 나타난 바와 같이 본 연구에 의해 새롭게 제작된 내부 삽입물을 사용한 경우 Ryu 등<sup>8)</sup>의 실험결과에 비해 다소 낮은 CO 전환율을 나타내었으나 그 차이는 크지 않았으며, Ryu 등<sup>8)</sup>의 경우(촉매:모래=1:3, 촉매 무게함량 25%)에 비해 촉매의 함량이 적은 조건(촉매:모래=1:9, 촉매 무게함량 10%)에서도 비교적 높은 CO 전환율을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 대표적인 예로 SEWGS 시스템의 일반적인 반응조건으로 고려되고 있는 steam/CO 비 3에서 Ryu 등<sup>8)</sup>의 실험결과에서 촉매와 모래를 1:3으로 물리적으로 혼합한 경우의 CO 전환율이 99.6%인 반면, 본 연구의 실험결과에서 촉매와 모래의 무게비 1:9인 조건에서 실린더 형태의 내부 삽입물을 사용한 경우, 97.8%, 스프링 형태의 내부 삽입물을 사용한 경우 97.9%로 나타나 촉매함량이 적음에도 불구하고 CO 전환율의 감소는 크지 않은 것으로 나타났다. Steam/CO 비 2부터 5까지의 모든 조건을 함께 고려하면 본 연구에서 사용한 두 가지 내부 삽입물 중에서 스프링 형태가 실린더 형태에 비해 다소 높은 CO 전환율을 나타내었다.

한편 Fig. 4에 나타난 바와 같이 Ryu 등<sup>8)</sup>의 보고에서 CO 전환율의 경우 parallel wall 형태의 내부 삽입물 내부에 입자형태의 WGS 촉매를 장입한 경우보다 tablet 형태의 촉매를 장입한 경우가 CO 전환율이 높게 나타났으나 유속변화에 따른 유동층 내부의 압력강하 측정 결과, tablet 형태의 촉매를 장입한 경우 촉매 사이에 존재하는 공극에 의해 대부분의 기체가 촉매 층으로 흐르게 되며 이로 인해 내부 삽입물 외부에 존재하는 CO<sub>2</sub> 흡수제와의 접촉이 저하되어 CO<sub>2</sub>

흡수 측면에서는 불리한 것으로 보고된 바 있다.

본 연구에서 새롭게 제안된 두 가지 내부 삽입물에 대해서도 유속변화에 따른 층의 압력강하를 측정하여 기체의 흐름방향을 확인하고자 하였다. Fig. 1에 나타난 유동층 반응기에 모래만을 장입한 경우와 본 연구에서 사용된 두 가지 삽입물 내부에 tablet 형태의 촉매를 장입하고 외부에 모래를 장입한 경우에 대해 유동화기체로 질소를 사용하여 상온, 상압 조건에서 유속변화에 따른 층의 압력강하(층의 벽면에서 측정된 압력강하, 즉 모래층에 걸리는 압력강하,  $\Delta P_b$ )를 측정 및 비교하였다. Fig. 5(a)에 나타난 바와 같이 반응기 내부에 내부 삽입물 없이 모래만을 장

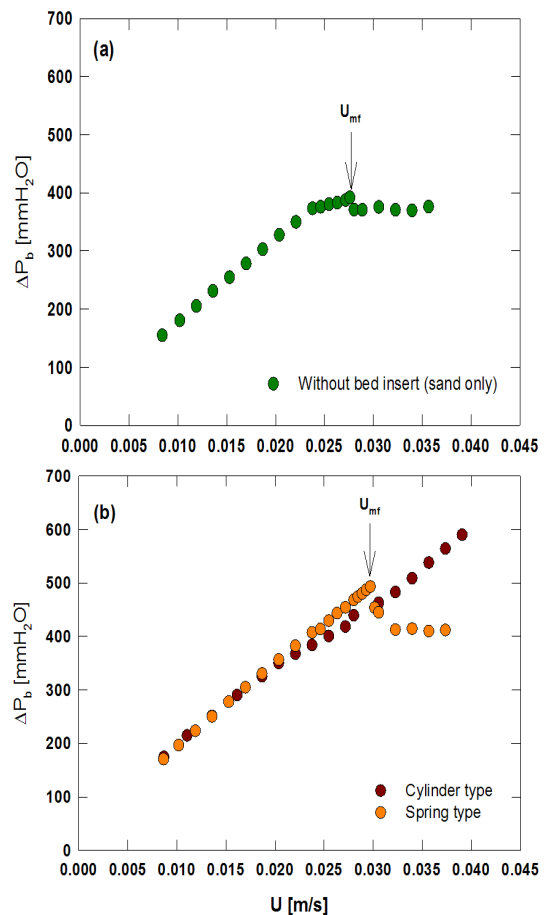


Fig. 5 Bed pressure drop profile for (a) without bed insert and (b) with cylinder type and spring type bed inserts

입한 경우 고정층 조건에서는 기체유속이 증가함에 따라 층의 압력강하가 증가하였으며 최대값을 나타낸 후 유동화가 시작되면서 일정해지는 경향을 나타내었으며, 정의에 따라 층의 압력강하가 최대값을 나타내는 유속을 최소유동화속도(minimum fluidization velocity,  $U_{mf}$ )로 결정할 수 있었다<sup>13-14)</sup>.

한편, Fig. 5(b)에 나타난 바와 같이 스프링 형태의 삽입물 내부에 tablet 형태의 촉매를 장입하고 외부에는 모래가 존재할 경우에는 Fig. 5(a)에 나타난 경우와 유사하게 유속이 증가함에 따라 층의 압력강하가 증가한 후 최대값을 나타낸 후 일정해지는 경향을 나타내었으나, 실린더 형태의 내부 삽입물에 tablet 형태의 촉매를 장입하고 외부에 모래가 존재할 경우에는 유속이 증가함에 따라 지속적으로 층의 압력강하가 증가하는 것으로 나타나 계속적으로 고정층 상태가 유지되는 것으로 사료되었다. 이와 같이 실린더 형태의 내부 삽입물에 대해 유속이 증가함에 따라 고정층 상태가 유지되는 이유는 실린더 내부에 충전된 tablet 형태의 촉매 사이에 존재하는 공극에 의해 주입된 기체의 일부분이 실린더 내부로만 흐르며, 이로 인해 실린더 외부의 모래층으로 흐르는 기체량이 감소하기 때문으로 사료되었다. 또한 Fig. 2와 같이 지그재그 형태로 실린더를 설치하더라도 기체는 주로 중앙부분으로 흘러가면서 상승하므로 반응기 벽 쪽으로의 기체흐름은 적은 것으로 사료되었다. 결과적으로 스프링 형태의 내부 삽입물을 사용하는 경우가 실린더 형태의 내부 삽입물에 비해 주입된 기체가 촉매 표면과 원활하게 접촉하여 CO 전환율도 높게 나타나며(Fig. 4 참조), tablet 형태의 촉매 장입에 의한 공극발생이 없어 주입된 기체가 한쪽으로 쏠려 흐르는 현상도 적은 것으로 나타났다.

## 4. 결 론

SEWGS 공정의 효율증대를 위한 방안으로 내부 삽입물을 사용하여 WGS 촉매를 SEWGS 반응기 내에 고정하는 방법에 대한 추가적인 연구를 수행하였다. 두 가지 새로운 형태의 내부 삽입물을 제안하였으며 내부 삽입물의 형태에 따른 CO 전환율 변화와 기체의 흐름방향을 확인하여 최적의 내부 삽입물을 선정하였다. 본 연구에서 얻어진 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 실린더 형태와 스프링 형태의 두 가지 내부 삽입물을 사용하여 tablet 형태의 촉매를 SEWGS 반응기에 고정된 상태에서 CO 전환율을 측정 및 비교하였다. 측정된 CO 전환율은 두 가지 내부 삽입물 모두 기존 보고<sup>8)</sup>에 비해 촉매 함량이 적음에도 불구하고 높은 CO 전환율을 나타내었다.
- 2) 모래층의 압력강하를 측정하는 방법으로 주입된 기체의 흐름방향을 파악하였다. 실린더 형태의 내부 삽입물을 사용하는 경우, 주로 반응기 중앙부분으로 기체가 흐르는 것으로 파악되었으나 스프링 형태의 내부 삽입물을 사용하는 경우에는 기체가 한쪽으로 쏠려 흐르는 현상이 적은 것으로 나타났다.
- 3) 기존 보고<sup>8)</sup>에 나타난 세 가지 내부 삽입물과 본 연구에서 새롭게 제안된 두 가지 내부 삽입물 중에서 스프링 형태가 비교적 우수한 성능을 나타내었으며 추가적인 연구를 통해 성능을 개선하고자 한다.

## 후 기

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다(2011201020004B). 연구비 지원에 감사드립니다.



## References

1. H. J. Ryu, "Selection of Process Configuration and Operating Conditions for SEWGS System", *Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society*, Vol. 20, No. 2, 2009, pp. 168-178.
2. H. J. Ryu, J. S. Hyun, H. Kim and T. S. Hwang, "Reaction Characteristics of WGS Catalyst with Fraction of Catalyst in a Batch Type Fluidized Bed Reactor", *Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society*, Vol. 22, No. 4, 2011, pp. 465-473.
3. O. Maustad, "An Overview of Coal Based Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) Technology", MIT report, Publication No. LFEE 2005-002 WP, 2008. pp. 1-43.
4. J. B. Lee, T. H. Eom, D. H. Choi, K. W. Park, J. Ryu, J. I. Baek, C. K. Ryu and H. J. Ryu, "Study on Hybrid Materials of WGS Catalyst and CO<sub>2</sub> sorbent for SEWGS Process", *International Symposium, on Low Carbon & Renewable Energy Technology*, Lotte Hotel, Jeju, Korea 2010, pp. 372.
5. J. M. Lee, Y. J. Min, K. B. Lee, S. G. Jeon, J. G. Na and H. J. Ryu, "Enhancement of CO<sub>2</sub> Sorption Uptake on Hydrotalcite by Impregnation with K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>", *Langmuir*, Vol. 26, No. 24, 2010, pp. 18788-18797.
6. H. J. Ryu, H. S. Kim, S. Y. Lee, D. H. Lee and J. C. Kim, "Effects of Operating Variables on Sorption Capacity of CO<sub>2</sub> absorbents for SEWGS Process", *Korean Chem. Eng. Res.*, Vol. 50, No. 6, 2012, pp. 994-1001.
7. H. Kim, D. H. Lee, S. Y. Lee, T. S. Hwang and H. J. Ryu, "Reaction Characteristics of WGS Catalyst for SEWGS Process in a Pressurized Fluidized Bed Reactor", *Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society*, Vol. 23, No. 4, 2012, pp. 337-345.
8. H. J. Ryu, H. Kim, D. H. Lee, D. H. Bae, T. S. Hwang, "Effect of Bed Insert Geometry and Shape of WGS Catalysts on CO Conversion in a Fluidized Bed Reactor for SEWGS Process", *Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society*, Vol. 24, No. 2, 2013, pp. 150-159.
9. H. J. Ryu, D. Shun, D. H. Bae and M. H. Park, "Syngas Combustion Characteristics of Four Oxygen Carrier Particles for Chemical-Looping Combustion in a Batch Fluidized Bed Reactor", *Korean Journal of Chemical Engineering*, Vol. 26, No. 2, 2009, pp. 523-527.
10. H. J. Ryu, K. S. Kim, Y. S. Park, and M. H. Park, "Natural Gas Combustion Characteristics of Mass Produced Oxygen Carrier Particles for Chemical-looping Combustor in a Batch Type Fluidized Bed Reactor", *Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society*, Vol. 20, No. 2, 2009, pp. 151-160.
11. H. J. Ryu, J. S. Hyun, H. Kim and T. S. Hwang, "Reaction Characteristics of WGS Catalyst with Fraction of Catalyst in a Batch Type Fluidized Bed Reactor", *Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society*, Vol. 22, No. 4, 2011, pp. 465-473.
12. G. B. Han, N. K. Park, S. O. Ryu and T. J. Lee, "The Reactivity for SO<sub>2</sub> Reduction with CO and H<sub>2</sub> over Sr-Zr Based Catalysts", *Korean Chem. Eng. Res.*, Vol. 44, No. 4, 2006, pp. 356-362.
13. H. J. Ryu, N. Y. Lim, D. H. Bae and G. T. Jin, "Minimum Fluidization Velocity and Transition Velocity to Fast Fluidization of Oxygen Carrier Particle for Chemical-Looping Combustor", *HWAHAK KONGHAK*, Vol. 41, No. 5, 2003, pp. 624-631.
14. J. S. Botterill and Y. Teoman, "Fluid-Bed Behaviour at Elevated Temperatures", in *International Fluidization Conference*, edited by J. R. Grace and J. M. Matsen, Plenum Press, New York, 1980, pp. 93-100.