

## 수소저장 기술특성 및 특허분석에 의한 기술동향

노순영\*, 이영우\*<sup>†</sup>, 강경석\*\*, 최상진\*\*\*, 김종욱\*\*\*

\*충남대학교, \*\*(주)시온텍, \*\*\*한국에너지기술연구원

## Technology Characteristics of Hydrogen Storage and Its Technology Trend by the Patent Analysis

Noh Soon Young\*, Young Woo Rhee\*<sup>†</sup>, Kyung-Seok Kang\*\*, Sang Jin Choi\*\*\*, Jong-Wook Kim\*\*\*

*\*Department of Chemical Engineering, Chungnam National University,  
220 Gung-dong Yuseong-gu Daejeon 305-764, Korea*

*\*\*Siontech Co., Ltd.,*

*530 Yongsan-dong Yuseong-gu Daejeon 305-500, Korea*

*\*\*\* Korea Institute of Energy research,*

*71-2 Jang-dong Yuseong-gu Daejeon 305-343, Korea*

### ABSTRACT

Hydrogen storage is widely recognized as a critical enabling technology for the successful commercialization. There are a few different approaches for hydrogen storage technology. In this paper, characteristics of hydrogen storage technologies were analyzed from the literature survey. Also, The technology trend of hydrogen production was scrutinized based on patent analysis. In patent analysis the search range was limited to the open patents issued from 1996 to 2006. The technology trend of hydrogen storage was assessed by classifying each patent based on the publishing year, country, and the type of storage technology.

**KEY WORDS** : hydrogen storage(수소저장), patent analysis(특허분석), technology trend(기술 동향)

### 1. 서 론

최근, 주 에너지원인 석유의 고갈과 환경오염을 해결할 대체·청정에너지원으로 수력, 풍력, 지열, 태양열, 수소에너지, 식물유연료, 핵융합 등의 다양한 에너지원에 대한 연구와 개발, 실용화가 활발하게 이루어지고 있다. 그 중에서 수소에너지는 지

구표면의 71%인 물로부터 대량생산이 가능하고, 전력에 비해 저장이 쉽고, 직접발전도 가능하며, 사용에 따른 오염물질의 배출이 거의 없다는 장점이 있다<sup>1)</sup>. 그러나 수소는 상온에서 반응속도가 매우 빠르고, 폭발위험성이 매우 높은 성질로 인하여 저장효율 및 취급성이 떨어진다. 따라서 효율적이고 안전한 수소의 저장 및 수송 기술을 개발하는 것은 수소를 활용하는데 있어 중요한 문제이다<sup>2)</sup>.

<sup>†</sup>Corresponding author : ywrhee@cnu.ac.kr

문헌에 보고된 자료를 분석하여 수소저장기술 특성과 동향을 파악한다면 수소경제를 앞당길 수 있는 획기적 기술을 가져올 것으로 판단된다. 이에 본 논문에서는 여러 가지 수소저장 기술의 특성을 조사, 분석하고 저장기술에 따른 특허분석을 통하여 저장기술의 동향을 평가하였다.

## 2. 수소저장기술의 분류

수소의 저장 및 수송에 사용되어지고 있는 방법으로는 고압수소가스저장법, 액화수소저장법이 있는데 이는 용기중량당 저장효율은 높은 반면에 고압·극저온기술의 필요성, 취급성, 그리고 안전성을 보장하기가 매우 어려우며, 특히 수소의 최대 단점인 안정성의 확보와 대량저장을 위한 대책이 필요하다<sup>3)</sup>. 이와 같은 수소를 저장하고 공급하는데 필요한 조건인 취급성과 안정성을 만족할 수 있는 수소저장법으로는 수소저장합금을 이용한 금속수소화물형태의 수소저장법, 탄소나노튜브와 같은 탄소계 나노재료에 의한 수소저장법, 유·무기물에 의한 비탄소계 나노재료에 의한 수소저장법, 화학적 수소화물에 의한 수소저장법을 들 수 있다. 이와 같은 여러 가지 수소저장 방법에 대해 다음에 간단히 기술하였다.

### 2.1 금속수소화물에 의한 저장

금속수소화물이란 금속이 수소와 화학반응에 의해 수소를 머금은 상태의 화합물을 일컫는다. 상온·대기압 부근에서 수소와 반응시켜 금속수소화물의 형태로 수소를 저장하고, 가열과 감압에 의해 쉽게 수소를 방출하는 합금을 수소저장합금이라고 한다. 금속수소화물에 의한 수소의 저장 및 방출원리를 그림1에 보였다. 이런 저장기술은 높은 수소 밀도를 얻을 수 있고, 체적에너지밀도는 메탄올과 비슷하다. 상온에서 체적당의 수소저장량이 많고, 고압용기 및 단열용기가 필요하지 않으며 장시간의 저장이 가능하다. 또한 안전성이 매우 높고, 순도 높은 수소를 방출한다는 장점이 있다<sup>4)</sup>.

금속수소화물이 수소저장매체로 활용되기 위해서는 수소와의 친화력이 큰 금속과 그렇지 않은 금속 간의 적절한 배합이 필요하다. 수소와의 친화력이 큰 금속을 A, 수소와의 친화력을 갖지 않는 금속을 B라고 했을 때 현재까지 수소저장 매체로서 검토되고 있는 금속수소화물은 구성 원소 간 화학양론적비를 갖는 AB형, AB<sub>2</sub>형, AB<sub>5</sub>형, A<sub>2</sub>B형 등이 있으며 화학 양론적 비를 갖지 않는 A<sub>x</sub>B<sub>y</sub>형의 고용체도 있다. Table 1에 수소저장합금의 분류를 정리하였다.

수소저장합금은 가역적으로 수소를 저장하고 방출하는 능력을 갖고, 그 반응속도도 빠르며, 저장 시에 발열하고, 방출 시에 흡열을 동반하는 것과 같은 반응특성에 주목하여 에너지변환기능을 갖는 재료로도 주목받고 있다.

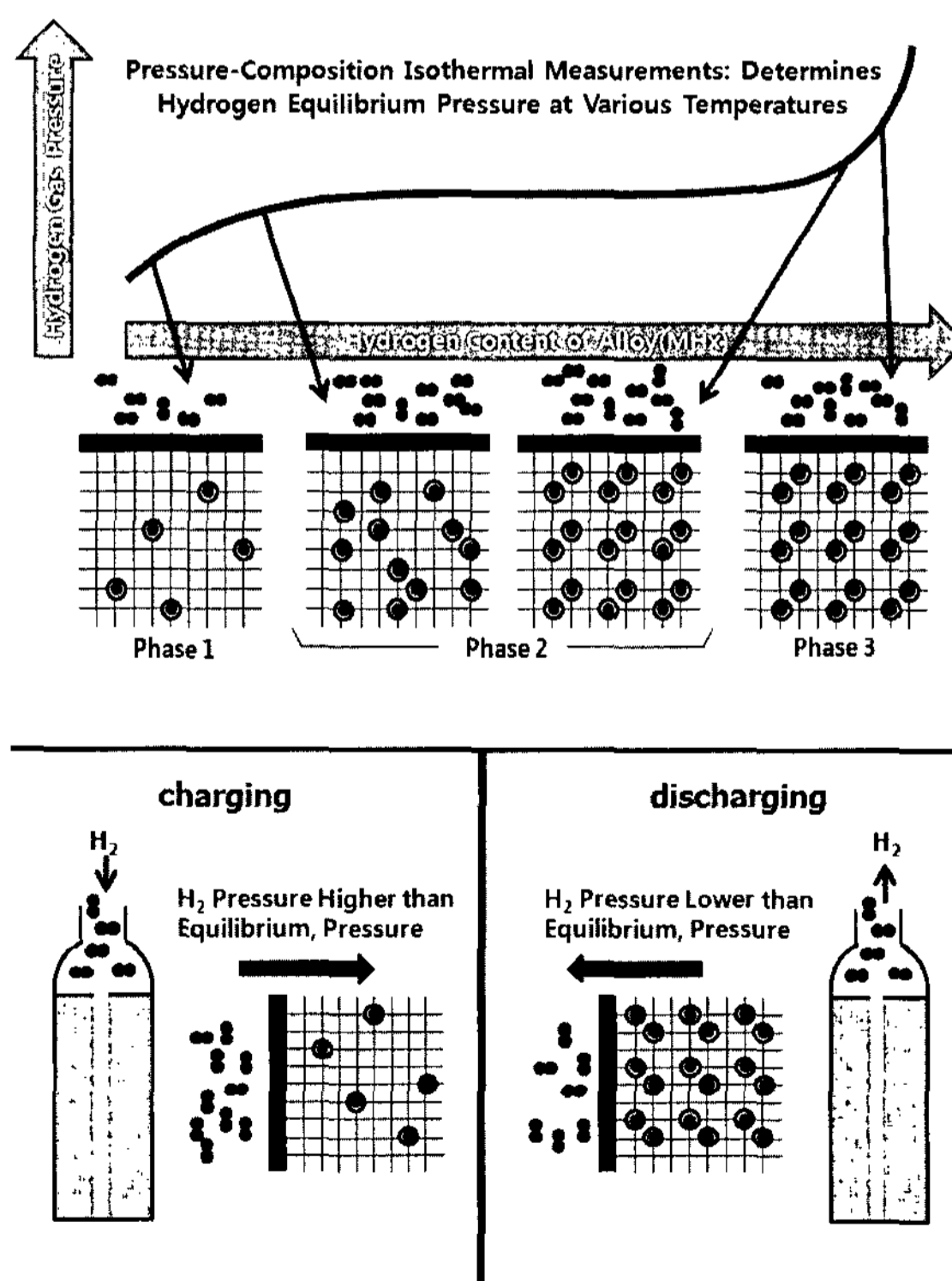


Fig. 1 Hydrogen storage of metal hydride and discharging principle

Table 1 a classification of metallic alloy for hydrogen storage

그룹		1	2	3
형		AB <sub>5</sub>	AB <sub>2</sub>	A <sub>x</sub> B <sub>y</sub> (bcc)
합금(예)		LaNi <sub>5</sub> MmNi <sub>5</sub>	ZrMn <sub>2</sub> TiMn <sub>2</sub> ZrV <sub>2</sub>	V Nb Ti-V Mg-Ni
수소 저장 량	H/M	1.0	1.3	2.0
	wt%	0.8 ~1.2	1.5 ~2.0	3.0 ~7.6
방출조건 (온도,압력)		매우 우수	보통	불량
반응속도		매우 우수	우수	불량
활성화 용이도		매우 우수	매우 우수	불량
내구성		우수	보통	우수

### 2.1.1 AB<sub>5</sub>형 합금

제 1세대 수소저장합금으로 부르고, 수소저장량은 많지 않지만 수소의 저장·방출특성이 매우 우수하며, 현재 Ni-MH형 2차전지로 사용되고 있다. LaNi<sub>5</sub>의 시작으로 경제성을 고려한 La, Ce, Pr, Nd 등을 주성분으로 하는 MmNi<sub>5</sub>가 많이 사용되고 있다. 또한 LaNi<sub>5</sub>, TiFe, Mg<sub>2</sub>Ni 등의 합금은 통상 하나의 성분으로 여겨진다.

### 2.1.2 AB<sub>2</sub>형 합금

수소저장량이 크고, 수소의 저장·방출특성이 비교적 우수하기 때문에 2차 전지용 전극재료로 활발한 연구가 진행되고 있다. A는 Ti, Zr 등을 주성분으로 하고, B는 Mn, Cr, V, Ni, Fe 등을 주성분으로 하는 제1천이계열의 원소들로 이루어져 있으며, AB<sub>5</sub>형 합금에 비해 경량이며 수소저장량이 비교적 많다<sup>5)</sup>.

### 2.1.3 BCC 합금

Ti-V-Mn계와 Ti-V-Cr계 등의 체심입방(bcc) 합금은 큰 수소저장량에 비해 수소의 저장·방출특성의 문제점이 많아 연구개발이 적었지만, 최근 수소저장량에 중점을 두고 수소의 저장·방출특성과 내구성을 개선하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

## 2.2 탄소계 나노재료에 의한 저장

탄소 소재 내의 기공에 기체 및 액체형태의 물질을 접촉시키면 분자간의 물리적 힘이나 화학반응에 의하여 기체나 액체가 탄소기공의 표면에 액체 형태로 부착될 수 있다. 이와 같은 기공성 탄소 소재에 수소를 접촉시키면 수소가 탄소표면에 흡착되어 저장될 가능성이 있기 때문에 종래의 활성탄을 비롯하여 플러렌(fullerene), 탄소나노튜브, 탄소나노섬유 등의 신규 탄소소재가 수소저장용 소재로 연구 개발되고 있고, 이들 소재의 표면 물성을 변화시켜 수소저장량을 증가시키려는 연구도 진행되고 있다<sup>6)</sup>. 탄소소재는 일반적으로 내열성과 내화학성이 우수하고, 장기간 반복하여 사용하더라도 수소저장능력의 감소나 저장재료의 파괴정도가 미미하므로 수소저장용량을 높이려는 연구가 성공적으로 수행될 경우 수소저장소재로서의 효용성이 아주 높을 것이다.

### 2.2.1 탄소나노튜브

탄소나노튜브란 육각형 고리모양의 탄소들로 이루어진 나노미터 크기의 탄소튜브를 말하고, 기계적 전기적 물성이 뛰어난 뿐만 아니라 수소분자를 저장할 수 있는 긴 나노채널과 높은 비표면적으로 인해 기체의 흡착력도 우수한 것으로 알려져 있어 수소를 저장하려는 연구가 진행되고 있다<sup>7)</sup>. 수소를 흡장하는 양은 약 10 wt% 정도이고 저온(-195°C~상온)에서도 사용이 가능하여 수소의 저장과 수송도 효율적이다. 그러나 방출능력이 1 wt%이하로 낮고 저온에서 활성화 탄소의 표면에 수소가 흡착되므로 저온유지 장치가 필요하다. 사이클이 진행될수록 탄소나노튜브의 파괴가 일어나

서 재연성이 떨어진다. 따라서 알칼리금속을 도핑하여 수소가 탄소나노튜브에 저장될 뿐만 아니라 도핑된 금속과도 결합하여 수소저장용량을 증가시키려는 시도가 이루어지고 있다<sup>8)</sup>.

## 2.2.2 탄소나노섬유

탄소나노섬유는 직경이 30~50 nm로 기존 탄소섬유의 1/100정도로 가늘며 이러한 탄소나노섬유에 기공을 생성시키면 수소저장능력이 우수하다는 연구결과가 보고되고 있으며 국내에서도 수소저장소재로서의 연구가 진행되고 있다<sup>1)</sup>. 탄소나노섬유와 같은 다공성 탄소는 고비표면적과 미세기공 농도를 갖는 나노구조가 수소 흡착능에 매우 중요한 인자이다. 또한 흡착온도도 수소저장 매체를 연구하는데 있어서 필수적이다. 최근 촉매 활성화 효과가 매우 큰 전이금속 Ni을 도핑하면 수소의 흡착능을 증가시킨다는 것이 확인된 바 있다<sup>9)</sup>.

## 2.2.3 풀러렌

풀러렌은 탄소원자로 구성된 육각 고리와 오각 고리가 조합되어 축구공 모양의 정육면체구조를 가진 물질로서, 탄소 수에 따라 C<sub>60</sub>, C<sub>70</sub>, C<sub>76</sub>, C<sub>78</sub> 등의 다양한 종류가 있다. 이 내부는 텅 빈 공간으로 추정되고 있으며 이 빈 공간에 수소를 저장시키려는 연구가 진행되고 있다<sup>2)</sup>.

## 2.2.4 그래파이트

그래파이트는 층간의 반데르발스 힘에 의해 적층된 이방성이 강한 결정으로서 층간구조를 잃지 않으면서 층간의 많은 분자나 이온 등을 삽입시켜 그래파이트 층간화합물을 형성할 수 있다. 알칼리금속이 층간에 삽입되면 수소동위체 효과가 현저하게 나타나고, 흑연층간에 중수소, 삼중수소 등의 무거운 동소체가 농축된다. 이와 같은 성질은 핵융합로 등의 이용이 실현될 때 저농도의 수소동위체 회수에 유망하다. 또한 그래파이트 나노섬유라고 불리는 직경 100 nm 정도의 섬유상 탄소가 실온에서 경이적인 양의 수소를 흡장하는 것이 보고되었다<sup>1)</sup>. 이는 에틸렌 등을 금속촉매 상에서 열분해

하여 얻어지며, 고압에서는 흑연층간에 수소가 흡장되어, 상전이 및 다분자층 흡착에 의해 층간 거리가 넓어지는 것으로 추측하고 있지만, 아직까지 실험적으로 확인된 바는 없다<sup>10)</sup>.

## 2.3 비탄소계 나노재료에 의한 저장

고체매체에 대한 수소 저장은 안전성, 그리고 에너지밀도 때문에 특히 관심을 끌고 있다. 고체 수소저장재료는 재료 그 자체의 질량 때문에 질량 수소밀도 면에서 고압가스와 액체수소의 저장에 비해 불리한 면도 있지만, 상온상압부근에서 재료 체적의 1000배 정도 수소를 흡착하여 고밀도로 저장 가능한 성질과 안정성에 주목을 받아, 수소의 저장매체로서의 연구개발이 진행되고 있다<sup>2)</sup>.

탄소나노튜브 발견에 이어, WS<sub>2</sub>-MoS<sub>2</sub>, NbS<sub>2</sub>, TiS<sub>2</sub>, 또는 BN 같은 풀러렌과 유사한 비탄소 나노튜브가 발견되었다. 나노튜브층간의 반데르발스 갭이 수소 저장의 잠재적 원인이기 때문에 무기 나노튜브에서의 수소저장을 연구하는 것은 가치가 있을 것이다. 게다가, 두 원소가 결합된 무기나노튜브는 순수 카본나노튜브와는 다른데, 이들은 새로운 수소 흡착-탈착 메커니즘을 보일 것이다. 그러나 이들 나노튜브의 성질과 응용에 대하여 아직 자세하게 연구되어 있지 않은 상태이다. 특히, 나노튜브와 같은 재료의 수소저장에 의한 영향과 메커니즘 규명은 큰 가치가 있다<sup>11)</sup>.

## 2.4 화학적 수소화물에 의한 저장

최근 높은 수소 저장 용량 때문에 많은 연구가 되고 있는 분야가 화학적 수소화물이다. 이는 수소를 포함하고 있는 화학물질에서 수소를 분리하여 이용하는 방법으로 별도의 수소 저장 과정이 필요하지 않으며, 물질 자체에서 수소가 차지하는 양에 의해 저장량이 결정된다. 화학적 수소화물은 알라네이트(Alanate) 수소화물, 알칼리금속 수소화물, 붕소계 수소화물, 방향족 화합물로 구분할 수 있다.

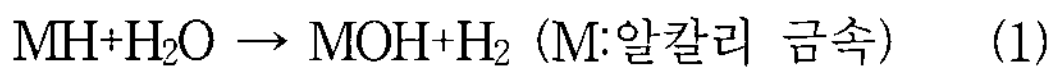
### 2.4.1 알라네이트 수소화물

NaAlH<sub>4</sub>, LiAlH<sub>4</sub> 등의 알라네이트 수소화물은

가역적인 수소저장 용량이 5~6 wt% 수준으로 비교적 경제적이다. 그러나 평탄압력구간이 2개이며, 150~250°C의 높은 운전 온도와 낮은 수소화 반응 속도 등 몇 가지 문제점이 있다.

### 2.4.2 알칼리금속 수소화물

알칼리 금속과 수소가 결합된 합금으로 CaH<sub>2</sub>, LiH, KH 등이 있으며, 비가역적으로 반응하는 반면 약 10 wt%의 높은 수소 저장 능력을 가진다. 또한 물과의 가수분해 반응을 통해 수소를 발생시키며, 수소의 절반을 물로부터 얻음으로써 발생하는 수소량은 수소화물의 수소 저장 용량의 두 배가 된다는 장점을 지니고 있다.



그러나 알칼리금속 수소화물을 이용한 수소 발생 방법은 고체 수소화물과 물의 접촉을 통해 수소가 발생하므로 수소 발생 속도나 수소 발생량을 조절하기 어려우며, 합금의 가격이 비교적 고가라는 문제점이 있다.

### 2.4.3 붕소계 수소화물

LiBH<sub>4</sub>, KBH<sub>4</sub>, NaBH<sub>4</sub> 등의 붕소계 수소화물은 약 10 wt% 이상의 큰 수소 저장 용량을 지니고 있고, 알칼리금속 수소화물과 마찬가지로 가수분해 반응을 통해 수소를 발생시키며 물로부터 전체 수소 발생량의 절반을 얻는다. 또한 단위 부피/질량당 에너지밀도가 높기 때문에 가장 효과적인 수소 저장 매체로 인식되어 최근 활발한 연구가 진행되고 있다.

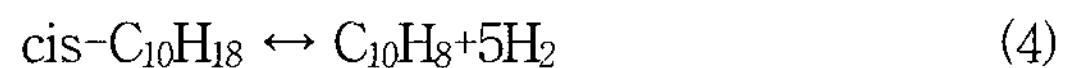
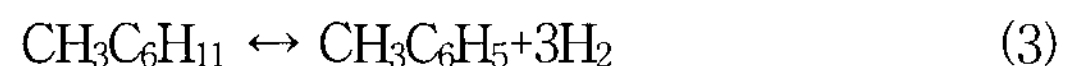


대표적인 붕소계 수소화물인 NaBH<sub>4</sub>는 수소저장용량이 21.3 wt%(가수분해에 의한 물로부터 공급되는 수소를 고려할 경우)이고, LiBH<sub>4</sub>는 37.0 wt%로 대체로 큰 수소저장용량을 지니고 있어 적

은 양의 화합물을 사용하여 고효율의 수소저장시스템을 설계할 수 있다. 알칼리 용액에 녹여서 안정한 상태로 저장 및 운반이 가능하며, 액상이나 고상으로 사용가능하므로 재충전이 쉽다. 또한 수소 발생 시 생성 되는 반응열이 낮고 촉매를 사용하는 구조이기 때문에 수소 발생의 조절을 용이하게 할 수 있다<sup>12,13)</sup>. 그러나 알칼리금속 수소화물과 같이 비가역적 반응을 하며, 화합물 가격이 비교적 높다는 단점이 있다.

### 2.4.4 방향족 화합물

방향족 화합물은 선택적인 수소화 촉매반응에 의해 쉽게 수소원자를 고정화시킬 수 있고, 그 후 촉매를 사용하여 탄소와 수소사이의 공유결합을 끊음으로써 수소를 방출할 수 있기 때문에 유용한 수소 담체가 될 수 있다. 식(3)은 톨루엔의 수소화 및 탈수소화 반응을 나타낸 것이다. 톨루엔은 안전하고, 저렴하며, 대량으로 생산되는 방향족 화합물로서 메틸사이클로헥산으로부터 석유정제 공정에 의해 얻을 수 있다. 식(4)는 나프탈렌의 수소화 및 탈수소화 반응을 나타낸 것이다



방향족 화합물의 수소화 공정은 이미 석유화학 공장에서 오래전부터 상용화되어 활용되고 있다. 이를 이용하는 시스템은 반응이 가역적이고 반응물과 생성물은 재사용할 수 있고, 상대적으로 많은 수소함량(6~8 wt%)과 끓는점(80~190°C)이 높으며, 장기간 저장할 수 있다는 장점이 있다. 국내에서는 이 분야에 대해 기초연구가 이루어진 바 있으나, 후속 연구는 아직 이루어지지 못하고 있다<sup>14)</sup>.

## 3. 수소저장기술 특허 분석

### 3.1 특허분석 기준

1996년부터 2006년까지의 기간에 등록 또는 공

## 수소저장 기술특성 및 특허분석에 의한 기술동향

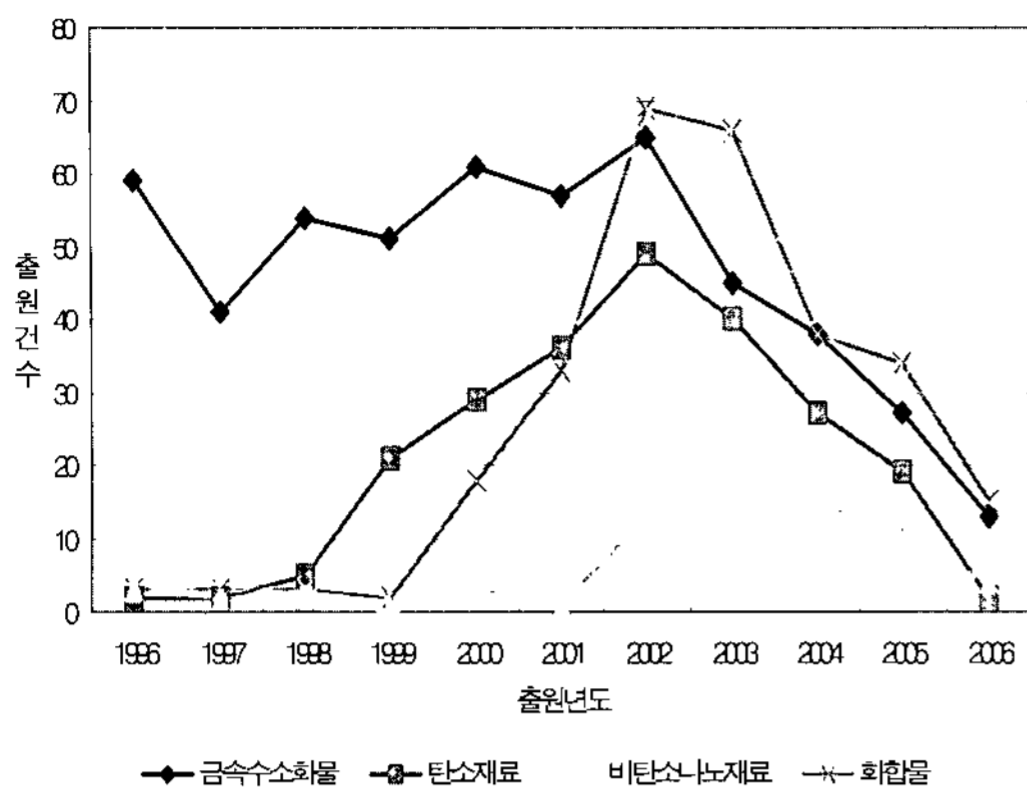


Fig. 2 Annual trend of the number of applied patents for each hydrogen storage technologies

개된 특허 1,085건을 특허분석 대상으로 하였다. 기술 분류별로 보면 금속수소화물 저장기술 513건, 탄소저장기술 232건, 비탄소나노재 저장기술 59건, 화합물 저장기술 281건이다. 분석대상 특허를 국가별로 보면 한국이 62건, 일본 700건, 미국 215건, 유럽 43건, 기타 65건이다. 특허출원 후 1년 6개월 이후에 공개되는 특허제도의 특성상 2005년도부터 미공개특허가 존재하므로 본 논문에서 다룬 데이터의 신뢰기간은 2004년까지이다.

분석지표는 거시적 분석과 심층적 분석으로 대별된다. 거시적 분석에서는 연도별 국가별 특허건수 및 누적건수 추이, 각 국가별 특허건수 및 점유율, 각 국가별 특허출원/출원인 국적 점유율을 분석하였다.

심층적 분석에서는 특허활동지수(AI: Activity Index), 피인용비(CPP: Cites per Patent), 영향력지수(PII: Patent Impact Index) 및 기술력지수(TS: Technology Strength)를 분석하였다.

### 3.2 저장기술별 특허출원동향

수소저장 분야 기술별 특허출원 동향을 Fig. 2에 나타내었다. 금속수소화물은 1990년대에서부터 활발한 출원을 보이다가 2002년을 기점으로 감소하고 있는 추세이며 탄소재 저장 기술은 1990년대 후반부터 본격적으로 특허가 출원되었으나 2002년

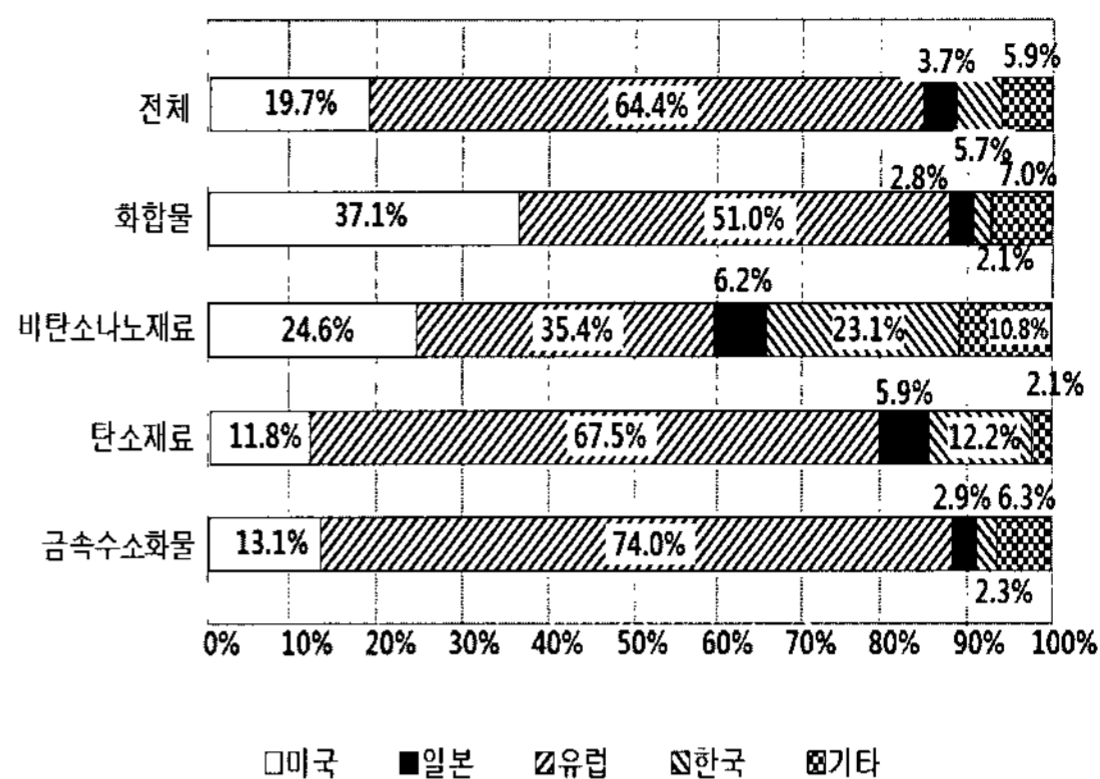


Fig. 3 Distribution analysis of hydrogen storage technologies for the applied patents of each countries

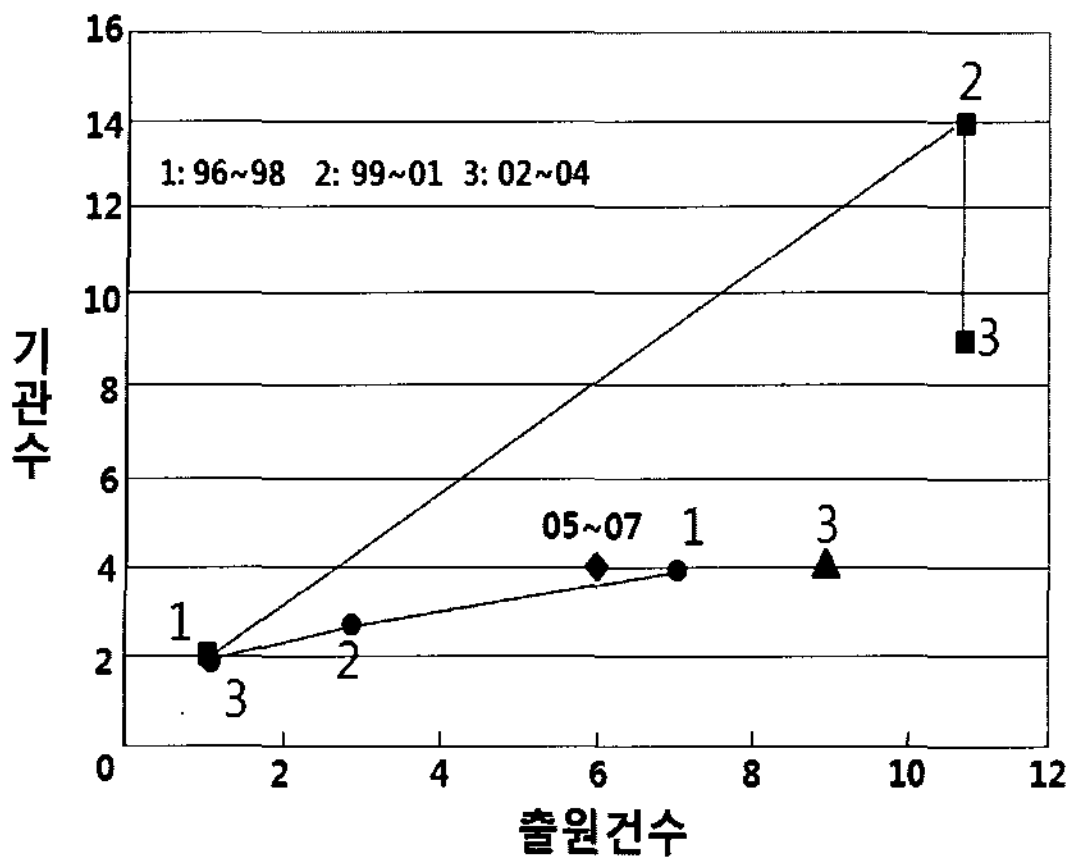
을 기점으로 감소하고 있는데 이는 최근 특허가 급격히 감소하는 것은 공개되지 않기 때문이다. 그러나 비탄소 나노재료와 화합물 저장은 2000년대에 들어서면서 본격적으로 특허가 출원되기 시작하였으며 꾸준히 증가하고 있으며, 앞으로도 꾸준히 특허가 출원될 것으로 판단된다.

각 국가별 수소저장기술에 대한 점유율을 Fig. 3에 나타내었다. 일본이 64.4%로 모든 기술에서 가장 높은 점유율을 보이며 금속수소화물과 탄소재 저장기술이 각각 74.0%와 67.5%로 타 기술에 비해 높은 점유율을 보이고 있다. 미국은 37.1%의 화합물 저장과 24.6%의 비탄소 나노재료 저장기술이 타 기술에 비해 높은 점유율을 보이고, 한국

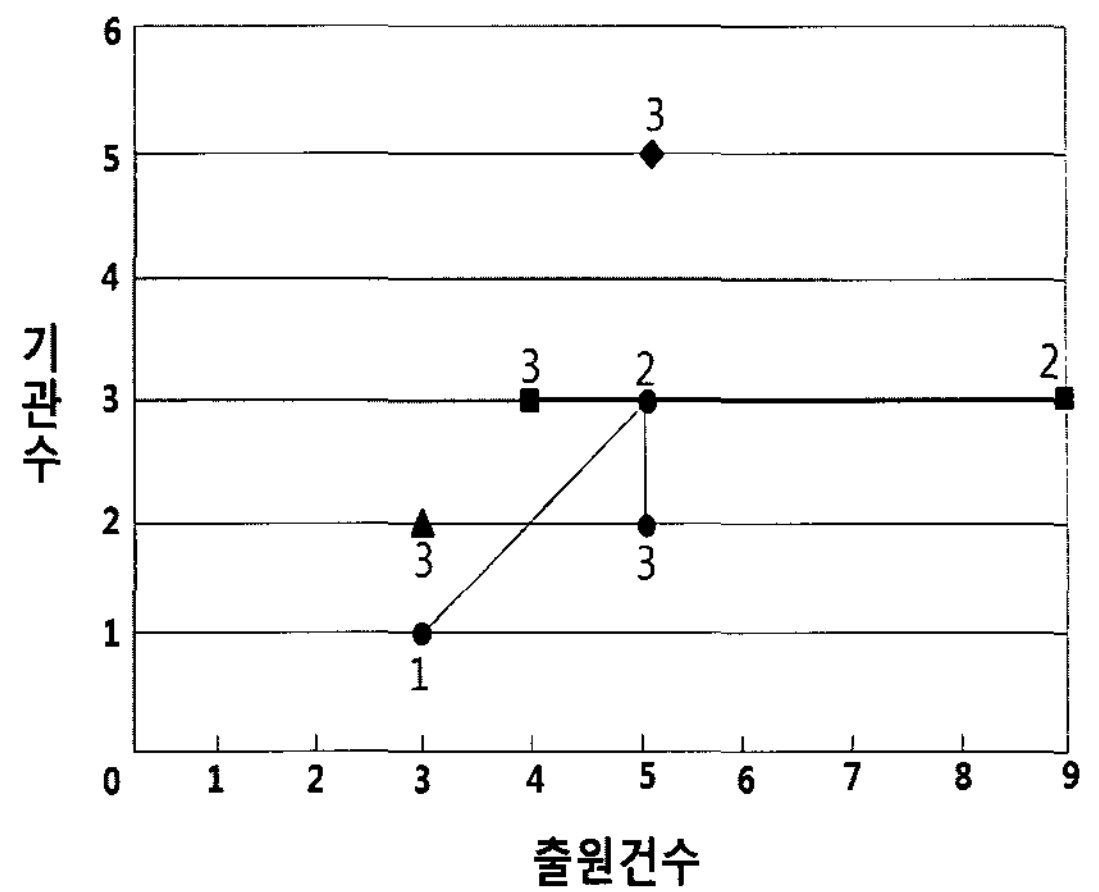
Table 2 Phase of hydrogen storage technology development for each countries

	일본	미국	유럽	한국
금속수소화물	성숙기	발전기	퇴조기	퇴조기
탄소재	발전기	발전기	성숙기	퇴조기
비탄소나노재	성장기	성장기	성장기	성장기
화합물	성장기	발전기	성장기	성장기

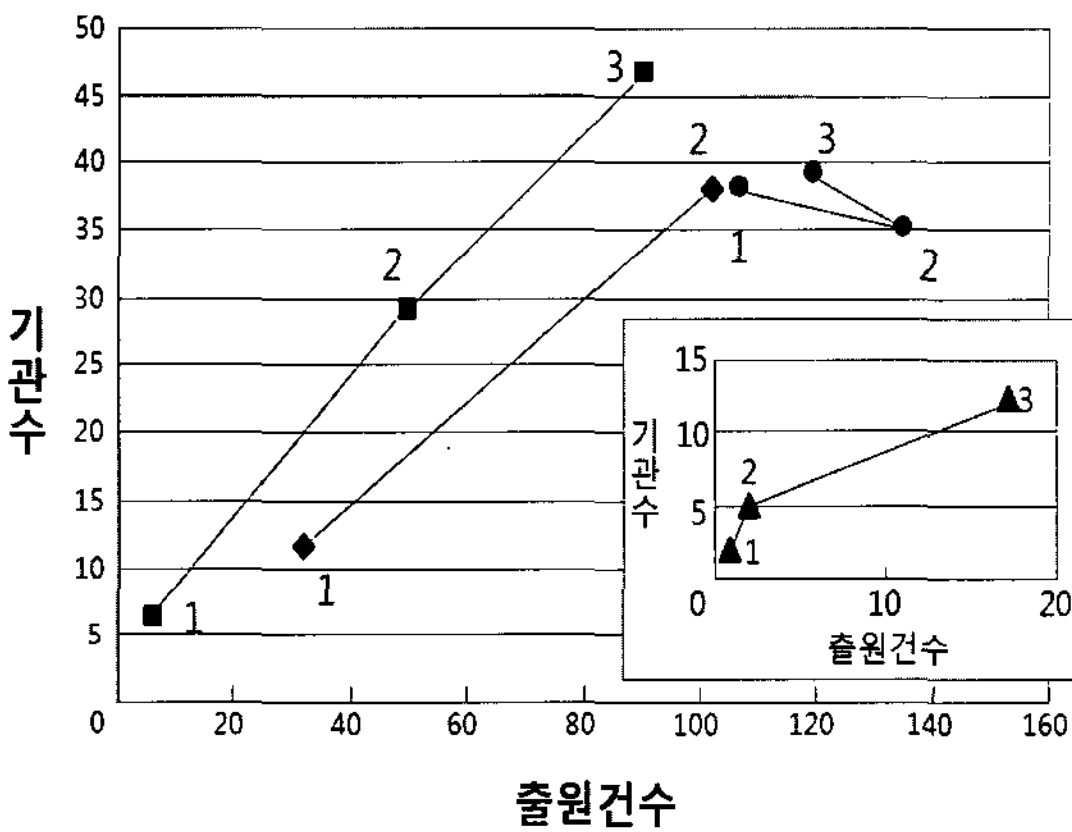
(주) 성장기: 특허출원건수 증가, 출원인수 소폭증가  
발전기: 특허출원건수 증가, 출원인수 증가  
성숙기: 출원건수 감소, 출원인수 증가  
퇴조기: 출원건수 및 출원인수 감소



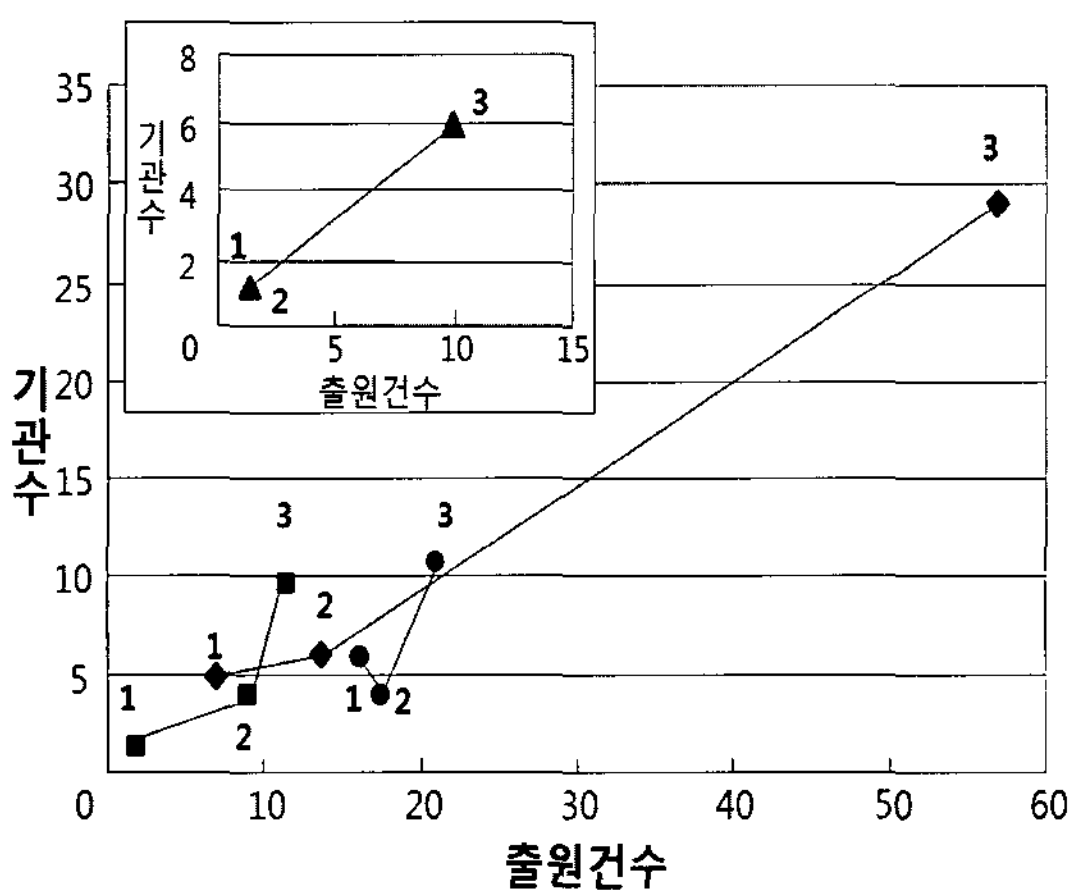
(a) 한국



(d) 유럽



(b) 일본



(c) 미국

● 금속수소화물 ■ 탄소재료 ▲ 비탄소나노재료 ◆ 화합물

Fig. 4 Changes of distribution trend in hydrogen storage technologies of each country

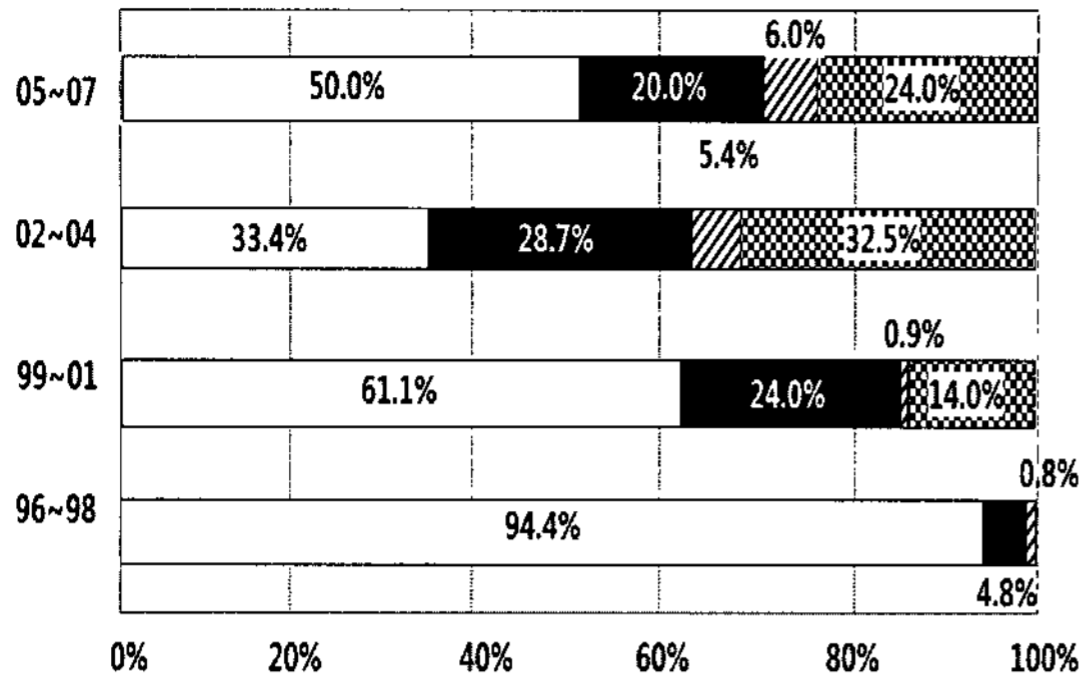
은 23.1%의 비탄소 나노재료 저장에 대한 점유율이 높고, 유럽은 비탄소 나노재료와 탄소재료 저장 기술에 대한 점유율이 각각 6.2%와 5.9%로 높게 나타났다.

### 3.3 저장기술별 위치

Fig. 4는 각 국가의 수소저장 기술별 특허출원 건수와 기관수 변화를 보여준다. 그래프에서 나타내는 1, 2, 3은 각각 1996~1998년, 1999~2001년, 2002~2004년을 나타내는 것이다. 일본의 경우, 탄소재료, 비탄소나노재료, 화합물 저장 기술은 1996년부터 2004년까지 출원건수와 기관수가 꾸준히 증가하였으나 금속수소화물 저장 기술에 대해서는 1999~2001년에는 출원건수는 증가하고 기관수는 감소함을 보였고, 2002~2004년에는 출원건수는 감소하고 기관수는 증가함을 나타냈다. 미국의 경우도 탄소재료, 비탄소나노재료, 화합물 저장 기술은 증가하는 것을 볼 수 있고, 금속수소화물 저장 기술은 출원건수는 증가하지만 1999~2001년에 기관수는 감소한 것을 알 수 있다. 유럽의 경우, 금속수소화물 저장 기술은 출원건수는 증가하지만 2002~2004년

수소저장 기술특성 및 특허분석에 의한 기술동향

일본



한국

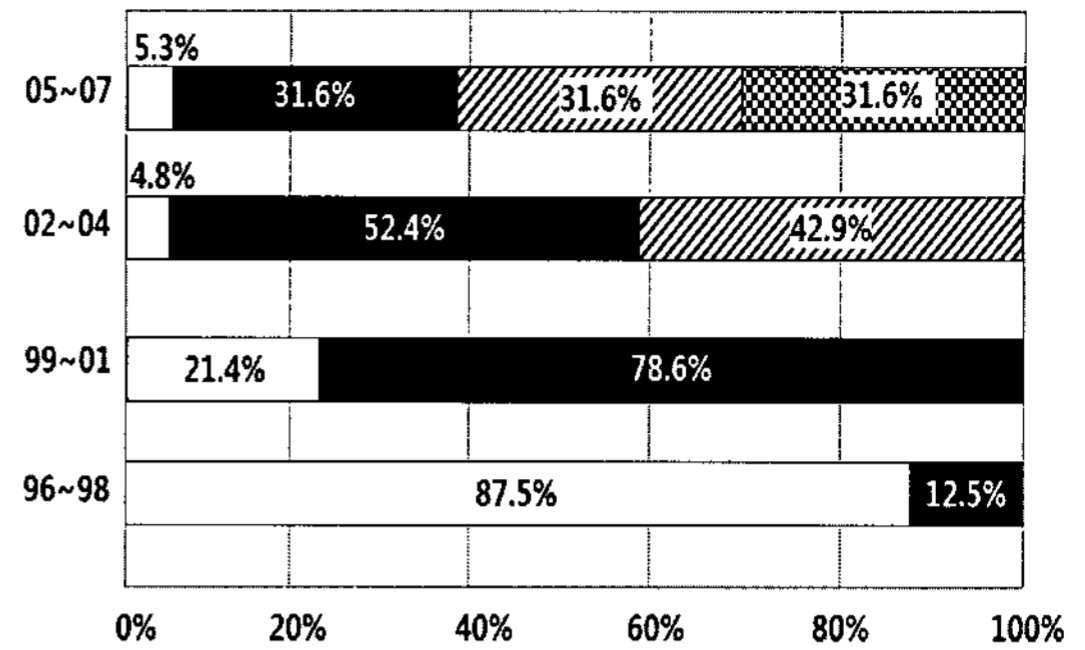
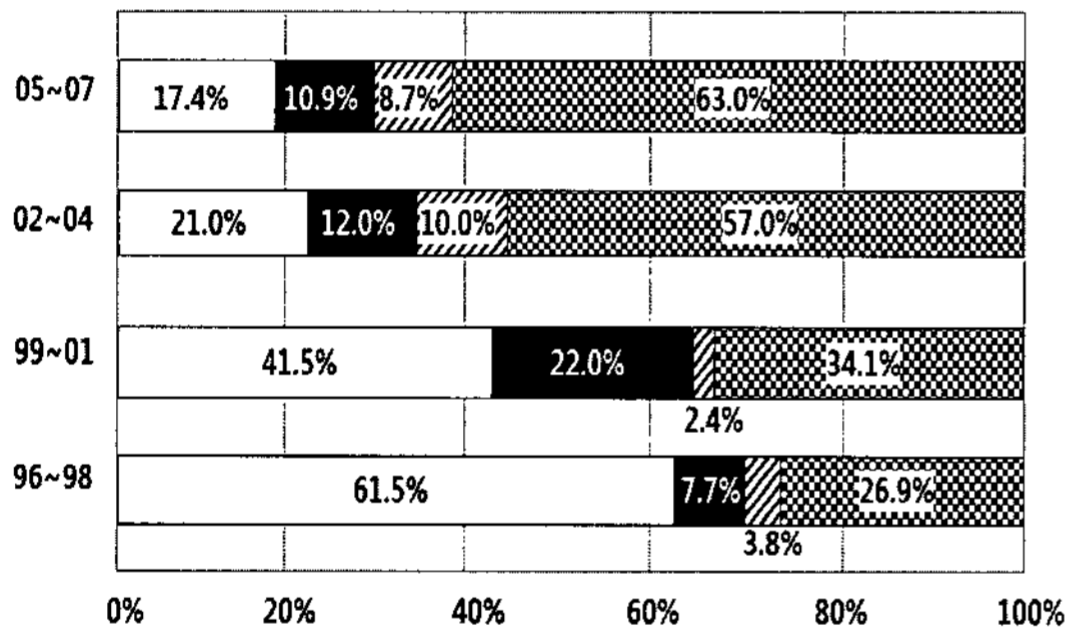


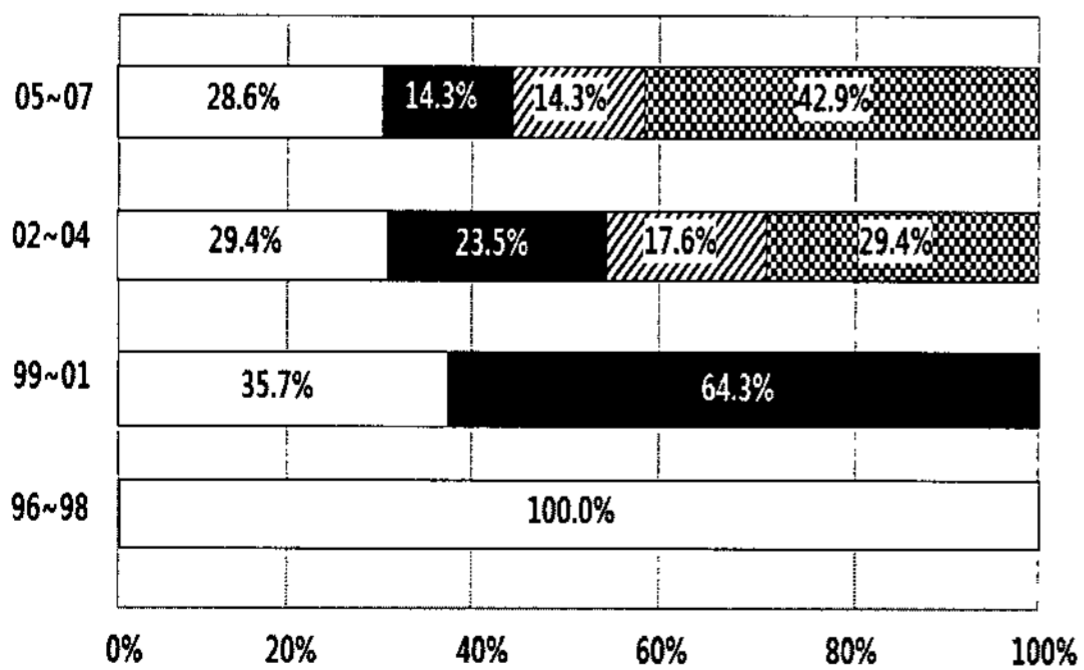
Fig. 5 Distribution trend in hydrogen production technologies for the applied patents of each countries

□ 금속수소화물 ■ 탄소재료 ▨ 비탄소나노재료 ▩ 화합물

미국



유럽



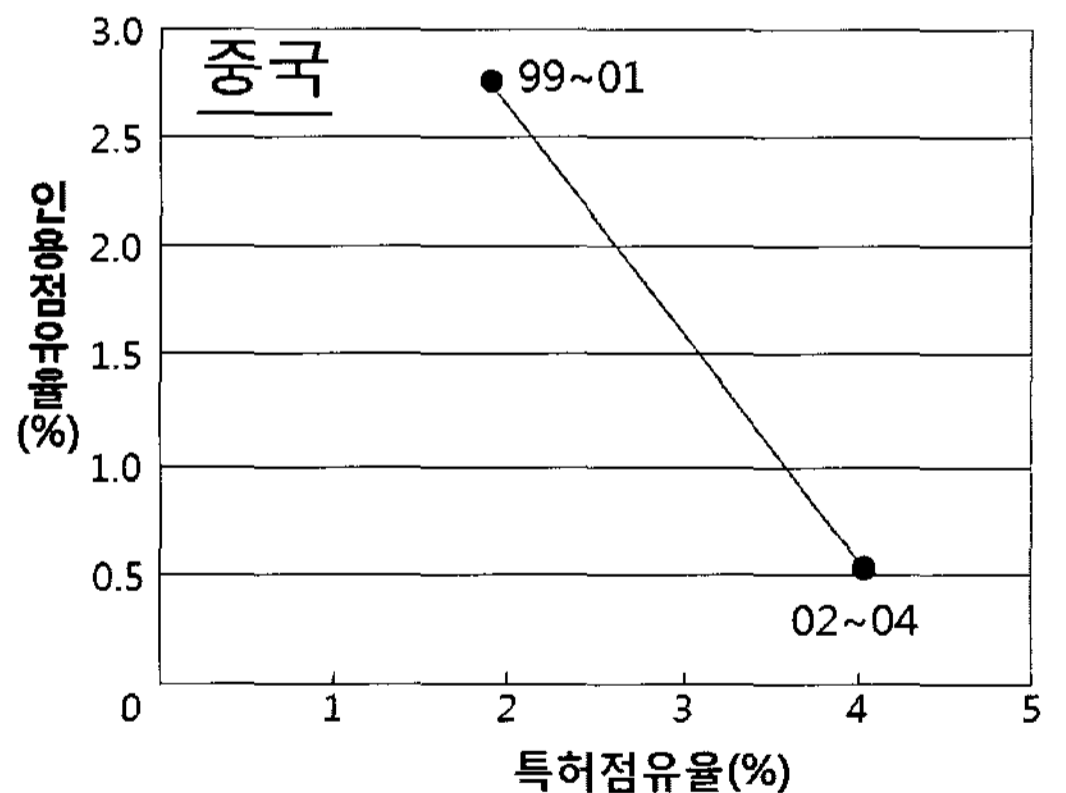
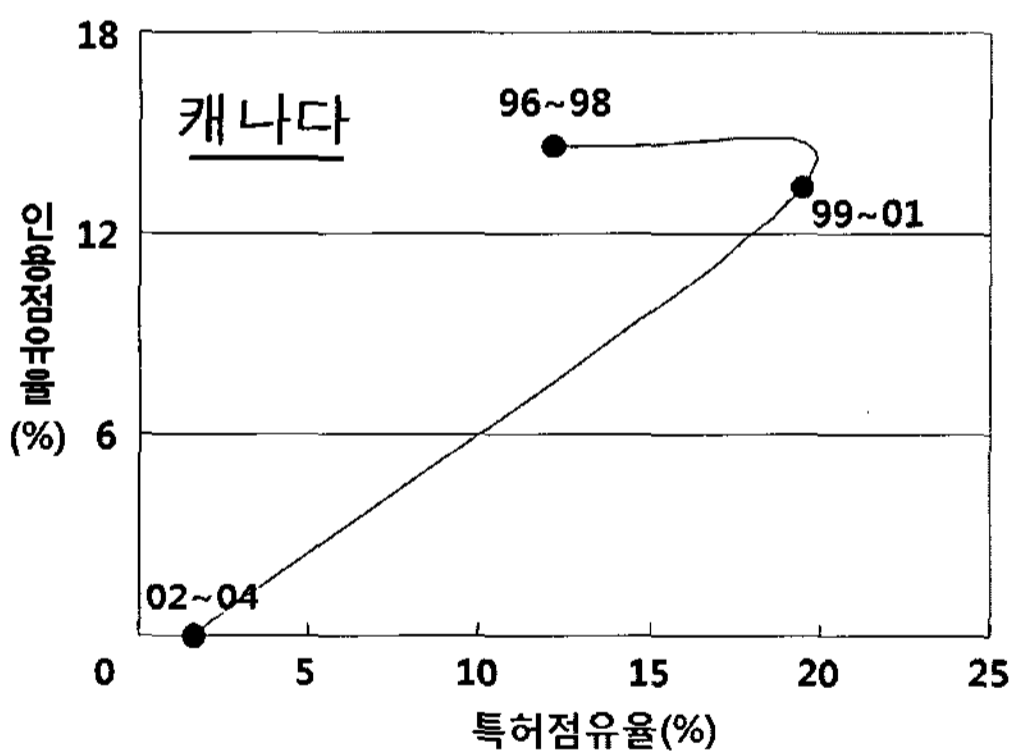
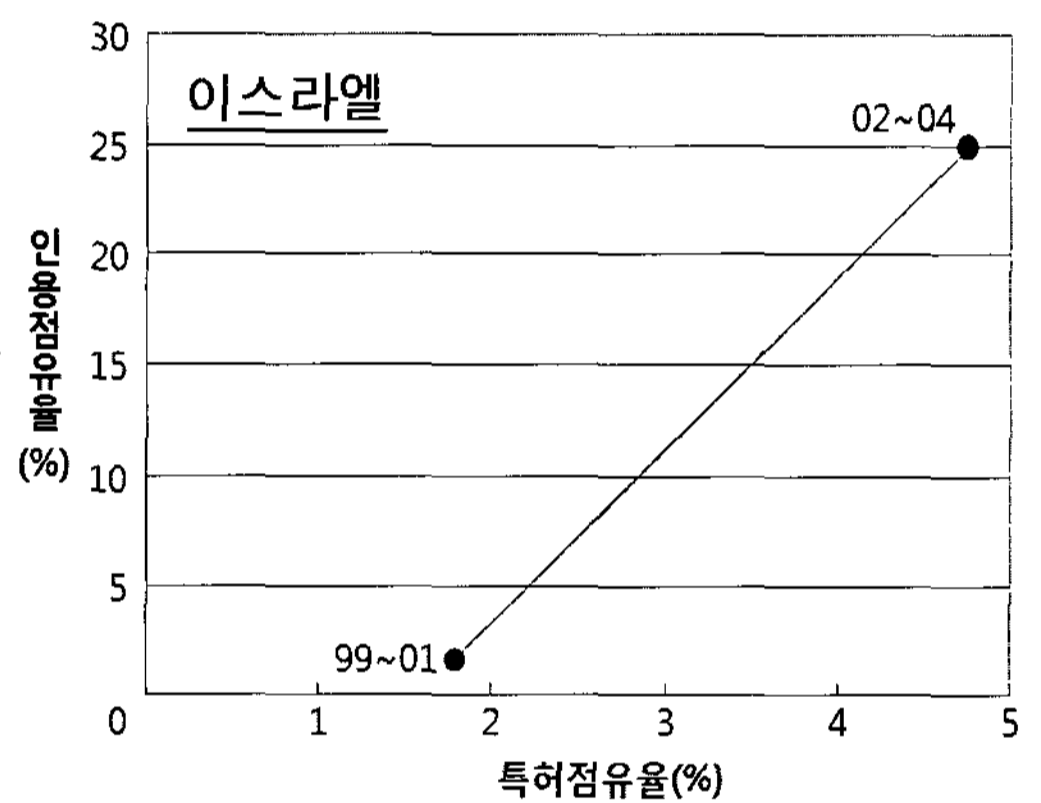
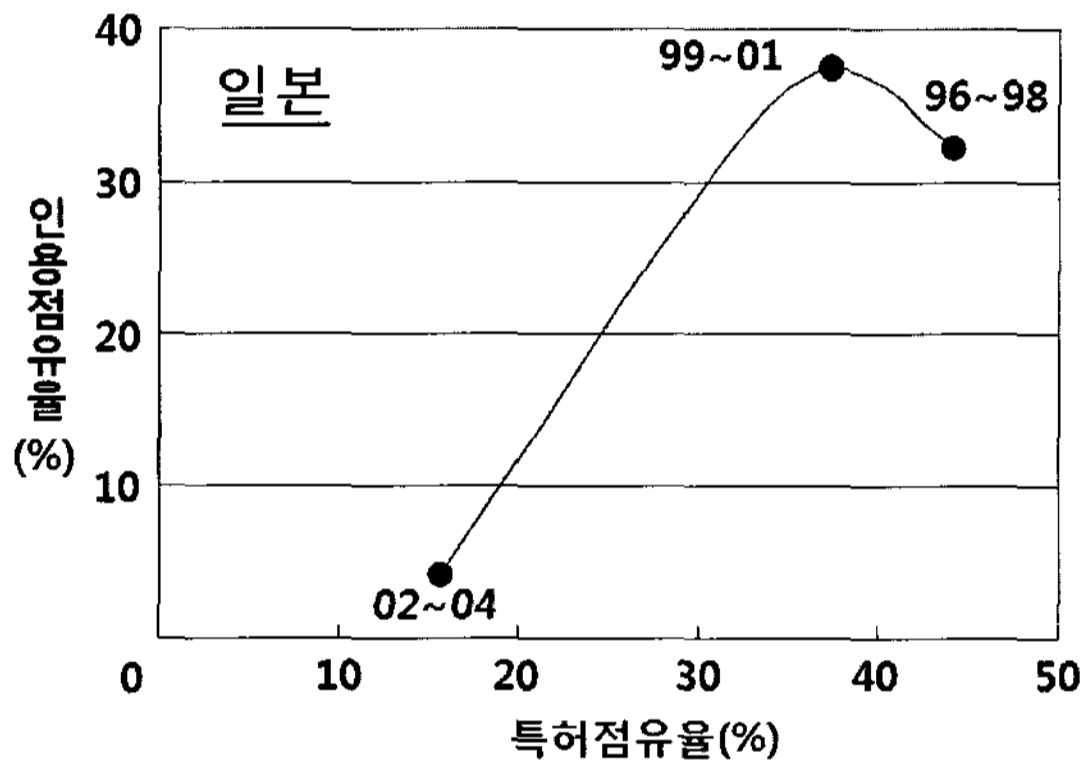
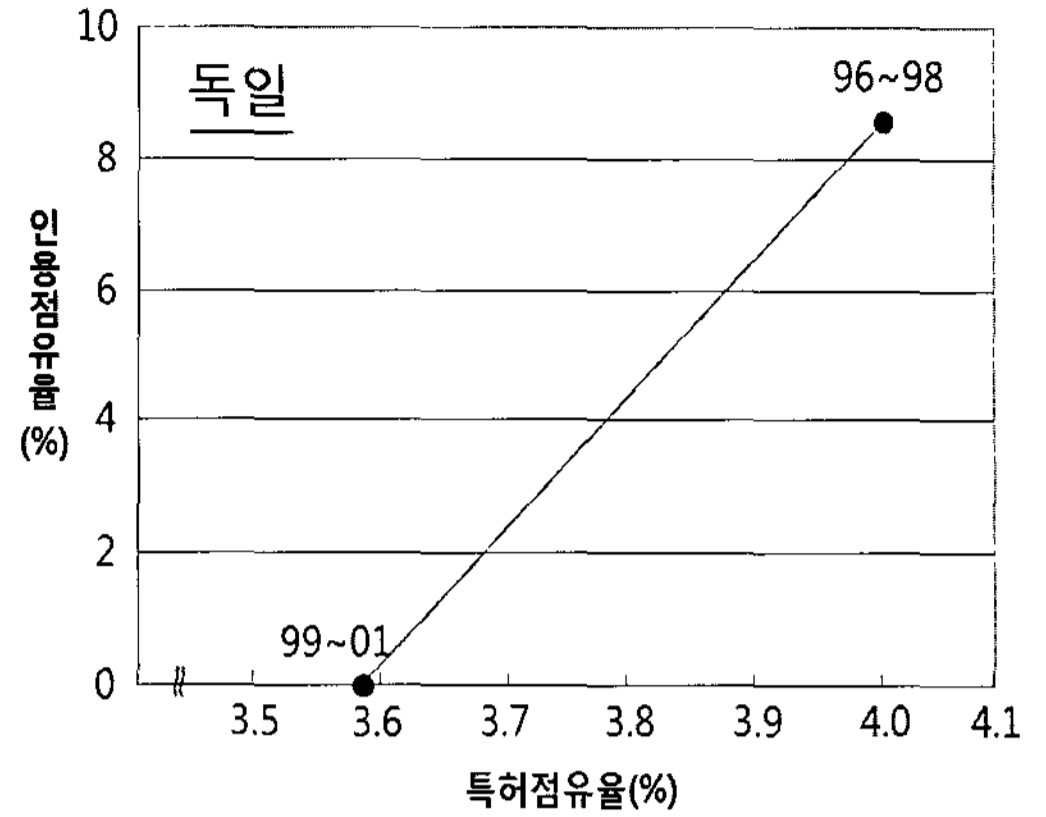
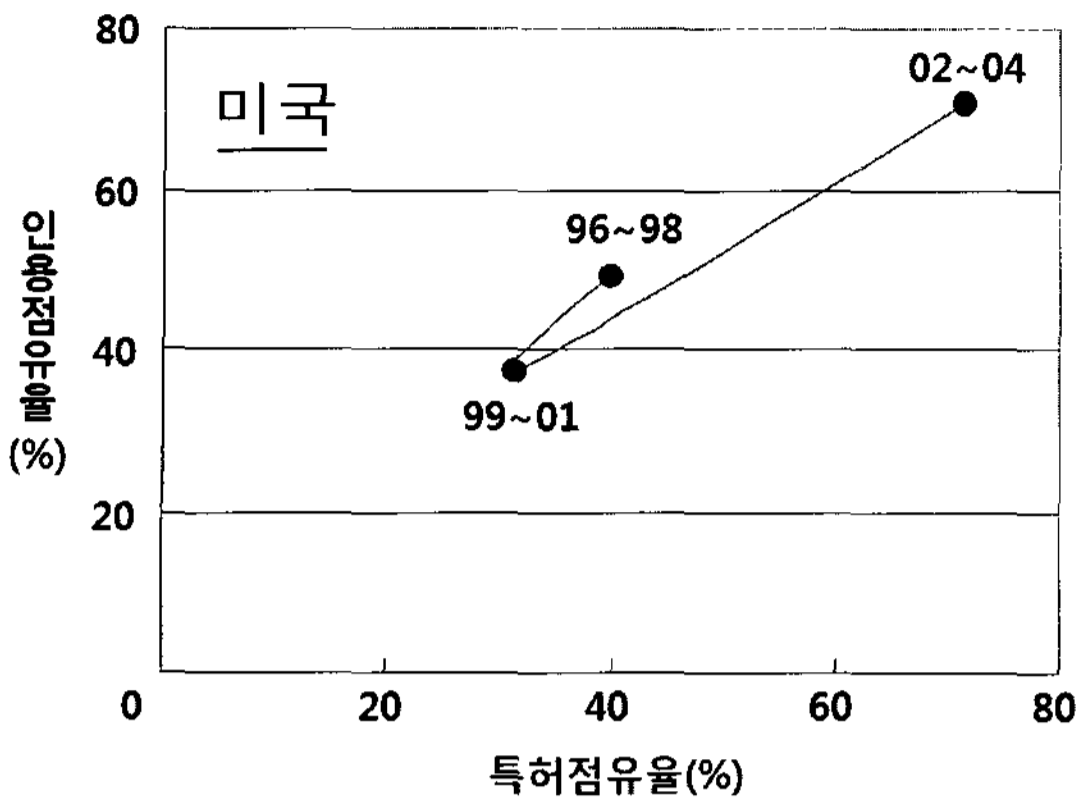
에는 기관수가 감소함을 볼 수 있고, 탄소재 저장 기술은 출원건수가 감소하고 있는 것을 보여준다. 한국의 경우에는 금속수소화물 저장 기술은 출원건수와 기관수가 감소하고 있고 탄소재 저장 기술

은 출원건수는 증가하지만 2002~2004년에는 기관수가 감소하는 것을 보여준다.

Fig. 5는 각 국가의 수소저장 기술별 점유율 변화를 보여주고 있다. 일본은 금속수소화물 저장 기술에 대한 점유율은 감소하고 탄소재 저장 기술과 화합물 저장 기술에 대한 점유율이 증가하고 있는 추세를 보인다. 미국은 금속수소화물 저장 기술에 대한 점유율이 급격히 감소하고 있으며 화합물 저장 기술의 점유율의 상승이 매우 두드러짐을 알 수 있다. 유럽은 1999~2001년 구간에 탄소재 저장 기술의 점유율이 매우 높았으나 2002~2004년 구간 이후 감소하고 있으며 화합물 저장 기술의 점유율 상승이 매우 두드러진다. 한국은 타 국가에 비해 탄소재 저장 기술에 대한 점유율이 아직 높게 나타나고 있으며 2005~2007년 구간부터 화합물 저장 기술에 대한 특허가 출원되었다.

Table 2에 주요 국가별 수소저장 기술 개발 단계를 나타내었다. 기술 개발단계는 관점에 따라 상이한 견해가 제기될 수 있지만 본 논문에서는 표2의 각주에 정의한 바를 기준으로 기술하였다. 일본의 경우, 금속수소화물 저장기술은 성숙기, 탄소재 저장기술은 발전기, 비탄소나노재와 화합물 저장 기술은 성장기임을 알 수 있고, 미국의 경우, 금속수소화물, 탄소재, 화합물 저장 기술은 발전기, 비탄소 나노재 저장 기술은 성장기에 있다는 것을





알 수 있다. 유럽의 경우, 금속수소화물은 퇴조기, 탄소재 저장 기술은 성숙기, 비탄소 나노재 저장 기술과 화합물 저장 기술은 성장기에 있음을 알 수 있고, 한국의 경우, 금속수소화물, 탄소재 저장 기술은 퇴조기, 비탄소 나노재, 화합물 저장 기술은 성장기에 있음을 알 수 있다.

Fig. 6 Citation occupation rate vs. patent occupation rate for each countries

### 3.4 한국의 저장기술 양적/질적 수준

양적/질적 수준으로 한국의 위치를 알아보기 위해 미국 등록특허를 대상으로 조사하였다.

수소저장 기술특성 및 특허분석에 의한 기술동향

Table 3 Analysis of technology level for each countries based on US patent

기술	국가	특허 건수	피인 용수	CPP (피인용 비)	PII (영향력 지수)	TS (기술력 지수)
전체	CA	15	51	3.40	1.31	19.63
	CN	2	6	3.00	1.15	2.31
	CY	1	2	2.00	0.77	0.77
	DE	3	15	5.00	1.92	5.77
	FR	2	0	0.00	0.00	0.00
	GB	1	0	0.00	0.00	0.00
	IL	4	9	2.25	0.87	3.46
	JP	41	130	3.17	1.19	48.87
	KR	1	0	0.00	0.00	0.00
	NO	1	13	13.00	5.00	5.00
	TW	3	1	0.33	0.13	0.39
US	76	172	2.26	0.87	66.19	
금속 수소 화물 저장	CA	8	44	5.50	1.94	15.56
	CN	1	1	1.00	0.35	0.35
	DE	3	15	5.00	1.77	5.30
	JP	31	93	3.00	1.03	31.78
	TW	3	1	0.33	0.12	0.36
	US	22	45	2.05	0.72	15.91
탄소재 저장	CN	1	5	5.00	1.32	1.32
	CY	1	2	2.00	0.53	0.53
	GB	1	0	0.00	0.00	0.00
	JP	7	30	4.29	1.13	7.89
	NO	1	13	13.00	3.42	3.42
	US	4	7	1.75	0.46	1.84
비탄소 나노재 저장	CA	3	23	7.67	2.93	8.79
	JP	1	0	0.00	0.00	0.00
	KR	1	0	0.00	0.00	0.00
	US	8	11	1.38	0.53	4.21
화합물 저장	CA	6	7	1.17	0.50	2.99
	FR	2	0	0.00	0.00	0.00
	GB	1	0	0.00	0.00	0.00
	IL	4	9	2.25	0.96	3.84
	JP	3	8	2.67	1.14	3.41
	US	42	112	2.67	1.14	47.76

(주) CPP: Cites per Patent  
 PII: Patent Impact Index  
 TS: Technology Strength

Fig. 6에 주요국가의 특허점유율과 인용점유율에 대하여 나타내었다. 미국은 1996~1998년 동안

특허점유율 40.0% 및 인용점유율 50.3%, 1999~2001년 동안은 특허점유율 32.1% 및 인용점유율 37.5%로 나타났으며, 2002~2004년 동안에는 특허점유율 71.4% 및 인용점유율 70.8%로 나타났다. 전체적으로 1996~2004년까지 양적 수준을 나타내는 특허점유율 32% 이상, 질적 수준을 나타내는 인용점유율 37% 이상을 유지하였다. 일본은 1999~2001년 구간에서 특허점유율 35.1% 및 인용점유율 36.2%를 보인 이후 2002~2004년 구간까지 양적/질적 수준이 감소하고 있는 추세이다. 캐나다와 독일 모두 1996~1998년 구간 이후 양적/질적 수준이 감소하고 있다. 이스라엘은 1999~2001년 구간 이후 양적/질적 수준이 증가하고 있으며 2002~2004년 구간에서는 특허점유율 4.8% 및 인용점유율 25.0%를 보이고 있다. 중국은 1996~1998년 구간에서 특허점유율 4.0% 및 인용점유율 0.6%를 보였으나, 2002~2004년 구간에서 인용점유율이 2.7%로 질적 수준이 증가하는 것으로 나타났다.

국가별 수소저장 기술수준을 Table 3에 나타내었는데, 12개국(캐나다, 중국, 키프로스, 독일, 프랑스, 영국, 이스라엘, 일본, 한국, 노르웨이, 대만, 미국)에 대해 특허건수, 피인용수, 피인용비, 영향력지수, 기술력지수를 분석하였다.

피인용비는 피인용회수를 특허건수로 나눈 값으로 forward citation을 이용하여 본 특허가 차후에 발생하는 특허에 얼마나 응용되고 있는지에 대한 특허의 유용성을 파악할 수 있는 지표이다. 피인용비가 높다는 것은 본 특허가 다른 기술혁신에 미치는 영향력이 높음을 의미하며 가치가 높은 특허로 추정할 수 있다.

영향력지수는 특정기술분야의 특정출원인의 CPP를 전체 CPP로 나누어 표준화한 지표로서 PII가 2이면 평균보다 2배 많은 빈도로 인용된다는 것을 나타낸다. 또한 기술력지수(TS)는 특허건수와 영향력지수를 곱한 값으로 기술력의 척도를 나타내는 지표이다.

전체적으로 볼 때 미국이 특허건수와 피인용수가 높게 나타났고, 금속수소화물 저장기술에는 일

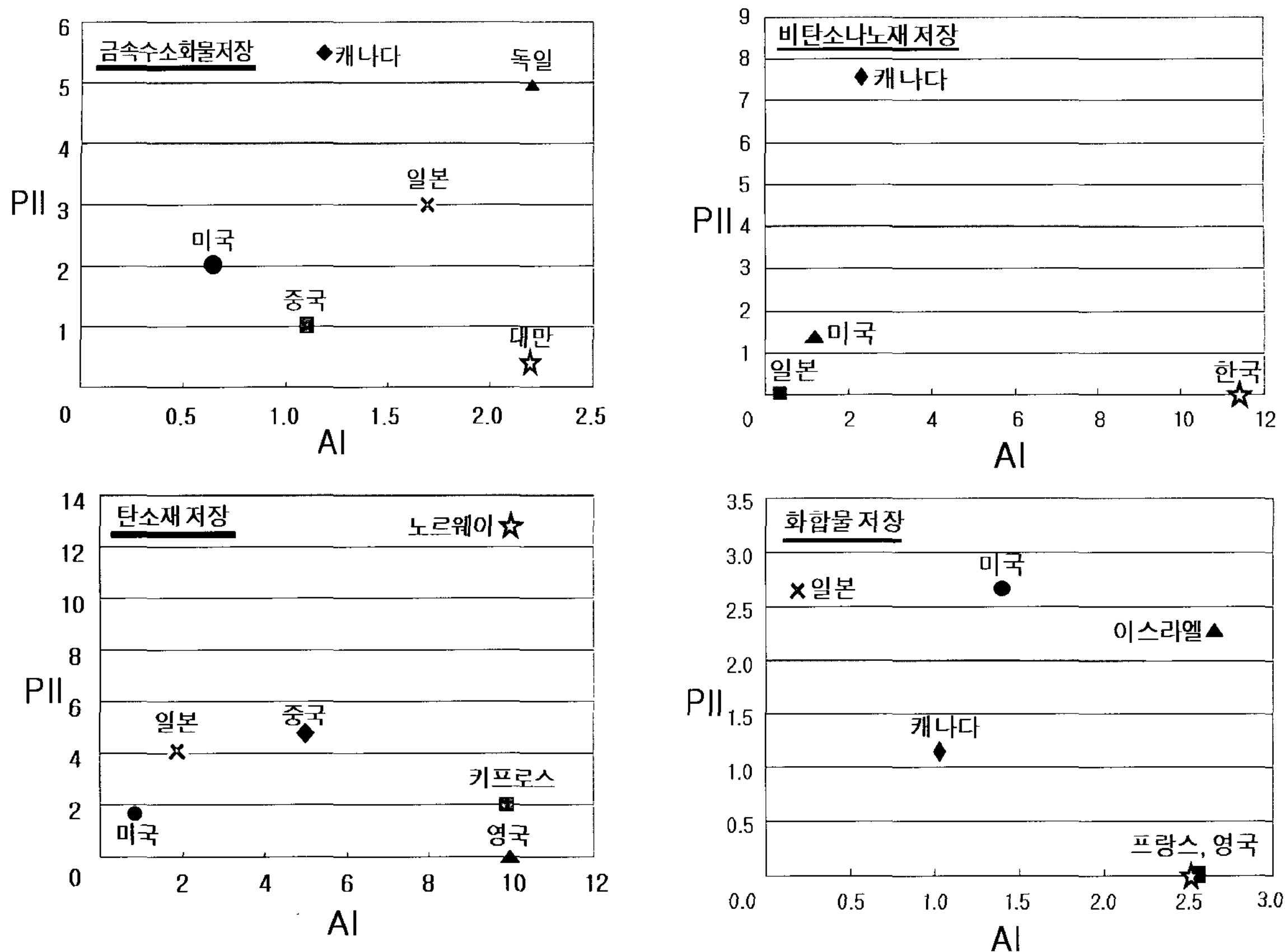


Fig. 7 Patent impact index vs. Activity index

본이 기술력지수가 높았고 캐나다는 특허건수에 비해 피인용수가 높아 피인용비와 영향력지수가 높게 나타났다. 탄소재 저장기술에서도 일본이 기술력지수는 높게 나타났지만 노르웨이가 피인용비와 영향력지수가 높게 나타났다. 비탄소나노재 저장기술에서는 캐나다가 대부분 높게 나타나고, 화합물 저장에서는 미국이 모든 부분에서 높게 나타나고 있다.

Fig. 7은 특허에 대한 영향력지수 및 특허활동지수를 나타낸 것이다. 특허활동지수(AI: Activity Index)는 특정 기술 분야에서 특정출원인(특허권자)의 상대적 집중도를 살펴보기 위한 지표로서 그 값이 1보다 큰 경우에는 특허활동이 상대적으로 활발함을 나타낸다. AI는 (특정 기술 분야의 특정출원인 건수/특정 기술 분야 전체 건수)/(특정출

원인 총 건수/전체 총 건수)로 정의된다.

금속수소화물 저장 기술에서는 캐나다와 독일 다음으로 일본이 높고, 독일은 집중도와 영향력 모두가 높은 것으로 나타났다. 탄소재 저장 기술은 노르웨이가 영향력과 집중도가 높으며 중국, 일본, 미국 순으로 영향력이 높으며 키프로스와 영국은 집중도는 높으나 영향력이 낮은 것으로 나타났다. 비탄소 나노재 저장 기술은 캐나다가 영향력과 집중도가 높으며 한국은 집중도가 매우 높으나 영향력이 낮고 일본은 집중도와 영향력이 모두 낮은 것으로 나타났다. 화합물 저장 기술에서는 미국과 이스라엘의 영향력과 집중도가 높으며 일본은 집중도가 낮으나 영향력이 높은 것으로 나타났다.

#### 4. 결 론

수소저장기술의 특성조사와 1996년부터 2006년의 기간에 등록 또는 공개된 특허 1085건을 대상으로 한 특허분석 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 수소저장기술은 크게 금속수소화물 저장, 탄소재 저장, 비탄소 나노재 저장, 화합물 저장기술로 분류된다. 최근 화합물 저장기술이 높은 수소 저장 용량 때문에 많은 연구가 되고 있다.
- 2) 기술별 점유율에서 금속수소화물 저장기술은 1990년대부터 활발한 출원을 보였으나 2002년을 기점으로 감소하고 있고, 탄소재 저장기술도 2002년을 기점으로 감소하는 추세이다. 그 외 기술에 대한 특허 출원은 모든 국가에서 증가하고 있는 추세이다.
- 3) 한국의 경우, 금속수소화물과 탄소재 저장기술은 퇴조기에, 비탄소 나노재와 화합물 저장기술은 성장기에 들어선 것으로 판단된다.
- 4) 일본의 경우, 금속수소화물 저장기술은 성숙기에, 탄소재 저장기술은 발전기에, 비탄소 나노재와 화합물 저장기술은 성장기에 들어선 것으로 판단된다.
- 5) 미국의 경우, 금속수소화물, 탄소재, 화합물 저장기술은 발전기에, 비탄소 나노재 저장기술은 성장기에 들어선 것으로 판단된다.
- 6) 유럽의 경우, 금속수소화물 저장기술은 퇴조기에, 탄소재 저장기술은 성숙기에, 비탄소 나노재와 화합물 저장기술은 성장기에 들어선 것으로 보인다.
- 7) 미국 등록특허를 대상으로 한국의 특허건수, 영향력지수, 기술력지수의 3개 분야에 대하여 국제경쟁력을 비교해보면, 미국이 전체적으로 높게 나타났고, 그 뒤로 일본과 캐나다가 높게 나타났다.

## 후 기

이 논문은 과학기술부의 지원으로 수행하는 21세기 프론티어 연구개발 사업(고효율 수소에너지

제조·저장·이용 기술개발 사업단)의 일환으로 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- 1) 김종원 외, “수소에너지”, 도서출판아진, 2005.
- 2) 김해진, 한상섭, 황갑진, “차량용 수소저장기술(II)”, 수소에너지정보 제 8호, 2005.
- 3) 岩崎 和市 外, 水素利用技術集成(製造·貯藏·エネルギー-利用), 株式會社 エス・ティー・エス, 2003.
- 4) 射場 英紀, 毛利 敏洋, 塩野谷 美和子, 秋葉 悦男, TOYOTA Technical Review, Vol. 45, No. 2, 1995, p. 108.
- 5) 射場 英紀, 塩野谷 美和子, 秋葉 悦男, TOYOTA Technical Review, Vol. 48, No. 1, 1998, p. 123.
- 6) B. Panella, M. Hirscher, and S. Roth, "Hydrogen adsorption in different carbon nanostructures", Carbon, Vol. 43, 2005, p. 2209.
- 7) S. Iijima and T. Ichihashi, Nature, Vol. 363, 1993, p. 603.
- 8) 홍현선, 이정섭, 강계명, “수소에너지저장기술 및 개발동향”, 가스산업과 기술 제 6권 1호.
- 9) Y. S. Lee, Y. H. Kim, J. S. Hong, J. K. Suh, and G. J. Cho, Cata. Today, In Press, 2006.
- 10) 김해진, 이순창, 박성훈, 이상문, 이진배, “비탄소계 수소저장 나노재료 개발”, 한국수소 및 신에너지학회, 2004추계학술대회, 2004, p. 3.
- 11) Y. Nakamori, G. Kitahara, S. Orimo, "Materials Design of Li-Based Complex Hydrides for hydrogen storage", 15th World Hydrogen Energy Conference, Yokohama, Japan, 2004.
- 12) A. Züttel, P. Wenger, S. Rentsch, P. Sudan, Ph. Mauron and Ch. Emmenegger, "LiBH<sub>4</sub> a new hydrogen storage material" J. Power

Sources, Vol. 118, 2003, p. 1.

- 13) 심규성, 김종원, 김연순, 박기배, “2-propanol의 탈수소화에 의한 수소제조연구”, 한국수소에너지학회지 Vol. 6, No. 1, 1995, p. 11.
- 14) 이영석, 김신동, “탄소재료를 이용한 수소저장기술연구동향”, *Prospectives of Industrial Chemistry*, Vol. 9, No. 4, 2006.