

## 비전통 석탄층 메탄가스 학술정보 분석

조진동<sup>1\*</sup> · 김종현<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국과학기술정보연구원 ReSEAT 프로그램, <sup>2</sup>한국과학기술정보연구원 기술정보분석센터

### Global Trends of Unconventional CBM Gas Science Information

Jin-Dong Cho<sup>1\*</sup> and Jong-hyun Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>KISTI ReSEAT Program

<sup>2</sup>KISTI Information Analysis Center

Methane burns more clearly than any other fossil fuels. Coalbed methane(CBM) is natural gas contained in coal beds. This gas is usually produced from coal that is either too deep or too poor-quality to be mined commercially. While global coalbed methane resource estimates are rough, they indicate between 84 and 377tcm, which compares with proven natural gas reserves of 180tcm. Coalbed methane resources are currently only produced on a major scale in the United States, Canada, Australia and China. In this study, we analysed total 109 published papers for the CBM during the 1990~2012 periods by the programs of 'web of science'. The results of analysis, the CBM study led by the United States, the follow India and Australia. In subject area(web of sciences), Energy Fuels is 57, Engineering 58 and Geology 41 papers, respectively.

**Key words** : fossil fuels, Coalbed methane(CBM), natural gas, Coalbed methane resources, Energy Fuels

석탄층 메탄가스는 채탄 석탄의 품질이 상업적으로 나쁘고, 심부에서 채굴되는 석탄층 내에 포함된 가스로서 메탄 가스는 다른 화석 연료보다 더 잘 탄다. 석탄층 메탄가스(CBM) 자원에 대한 세계 매장량은 거의 추정량이지만 확정된 천연가스가 180tcm인 반면에 이는 84~377tcm 정도이다. CBM은 현재 미국, 캐나다, 호주, 중국에서 대규모로 생산되고 있다. 'Web of Science'를 이용한 CBM에 대한 학술정보 분석은 1990년 이후 22년간 검색어 'Coal bed methane\*'에 대한 검색 결과 총 109건의 결과를 얻을 수 있었으며, 정보 분석 프로그램으로 CBM에 관련된 문헌을 연도별, 국가별, 연구기간별, 연구자별 현황 등으로 구분하여 분석하였다. 분석한 결과, CBM 연구는 미국이 주도하고 있으며, 다음은 인도와 호주이며, 연구 분야별 논문 발표 현황은 에너지 연료는 57편, 공학 분야는 58편 및 지질학 분야는 41편이었다.

**주요어** : 화석연료, 석탄층 메탄가스, 천연가스, 석탄층 메탄가스자원, 에너지 연료

## 1. 서 론

천연가스는 크게 전통 가스와 비전통 가스로 구분되며, 비전통 가스는 크게 보아 치밀 가스(tight gas), 석탄층 메탄가스(Coalbed methane, 이하 CBM이라 함) 및 셰일가스(shale gas)의 3가지로 분류한다. CBM은 식물이 석탄으로 서서히 변화되는 과정에서 형성된 메탄가스가 석탄층에 남은 것이다. CBM 개발은 1980년 중반에 뉴멕시코(New Mexico)의 산후안(San Juan)

분지에서 시작됐으며, CBM 생산은 석유·가스 산업으로부터 개발된 새로운 산업이다. 탄광개발은 얕은 심도에 있는 석탄층을 대상으로 하였으나, 석탄 채굴 시에 빈번히 메탄가스 폭발사고가 발생되었다. 현재는 메탄가스를 포집하여 에너지 자원으로 생산단계에 이르렀다. CBM 이용은 새로운 에너지원의 창출뿐 아니라 탄광 폭발사고 방지와 온실가스 배출억제 등 다각적인 효과가 있다. 미국 정부는 1980년 초에 CBM을 국가 에너지 자원으로 판단하여 CBM 탐사기술 개발을 주

\*Corresponding author: jdcho@reseat.re.kr

도하였다. 호주는 1996년부터 CBM 생산을 시작했으며, 2020년에는 전체 가스 생산량의 50%를 CBM이 차지할 것으로 예상하고 있다. 한국지질자원연구원은 국내 에너지자원 확보 목표로 2005년도부터 국내 최초로 도계 광업소에서 2개 7시추공(1,621.7m)을 착정하여 CBM 실증연구를 수행하였다(Kho *et al.*, 2008). CBM의 매장량은 약 250tcm(tcm: Trillion cubic meter)로서 주로 구소련, 북미 지역에 분포되며, CBM 사업은 현재까지 미국, 호주, 캐나다 등이 대규모로 상업적 개발에 성공하여 풍부한 석탄자원을 가진 국가를 중심으로 사업성이 부각되고 있다(Hwang, 2010). 본 글의 목적은 CBM 학술정보 분석을 통하여 국내 기업의 기술개발, 연구자들의 국제 공동연구 및 국가 정책 개발의 효율성 증대에 있다. CBM 학술정보 분석에 사용된 Web of Science의 데이터베이스는 1899년부터 현재까지 자료가 수록된 과학 잡지로서, 150개 과학 분야에 걸쳐 7,100개 이상의 주요 잡지에 색인을 완전히 부여하고 있다. 데이터베이스(SCI Expanded)에 발표된 석탄층 메탄에 관련된 문헌정보 분석은 1990~2012년까지 22년간 'Web of Science'(2013)의 'title = coal bed methane\*'에 포함된 문헌 109개를 검색하였다.

## 2. CBM 일반개요

CBM은 식물이 석탄으로 서서히 변화되는 과정에서 형성된 메탄가스가 석탄층에 남아 있는 것으로 현재 미국, 캐나다, 호주, 중국에서 대규모로 생산되고 있다. CBM은 1990년대에 에너지자원으로 주목을 받았으며, 미국을 비롯한 캐나다, 호주 및 중국은 석탄자원화를 위해 석탄에 함유된 메탄가스 추출에 성공을 함으로 신에너지로 부상을 했으며, 많은 국가들은 에너지의 안정적 확보를 위해 많은 노력을 하고 있다. 2000년대에 와서는 막대한 석탄자원을 보유한 중국이 석탄자원 탐사를 본격화함으로써 무연탄에 대한 메탄자원 개발 가능성이 알려졌다. 국내는 약 15억 톤의 석탄자원이 부존된 것으로 확인되지만 수요처 상실로 사장될 처지에 놓여 있어 국내에서도 CBM 개발기술을 확보함으로써 막대한 석탄자원을 확보한 국가에 진출하여 안정적으로 에너지자원을 확보할 수 있을 것이다. CBM 생산기술은 1990년대 채탄의 안정성을 위해 메탄가스를 대기 중으로 방출시켜 포집하므로 에너지로 활용하는 기술이며, 석탄층의 가스개발 방법은 석탄 채굴시 발생한 메탄가스를 포집하는 방법과 개발이 되지 않은 석탄층에서 메탄가스를 추출하는 방법이 있다. 한편 매몰된

석탄층 내에 다량 메탄가스가 함유되어 있으므로 석탄 채굴과정에서의 메탄가스 폭발로 인명과 재산의 피해가 발생하는 사례가 많다. 따라서 CBM을 별도로 분리 포집하면 효과적인 연료사용이 가능하므로 이에 대한 많은 연구가 이뤄졌으며, 미국은 1990년대에 CBM 포집기술을 상용화시켜 실용 플랜트를 가동하고 있다. CBM 이용은 새로운 에너지원의 창출뿐 아니라 탄광 폭발사고 방지 및 온실가스 배출억제 등 다각적인 효과가 있다. CBM 자원이 최근에 각광을 받는 주원인은 ① CBM 개발기술 향상과 유가상승, ② 환경규제 대안으로 부각 및 ③ 가스 자급률 증대로 가스 수입 의존도를 완화하는데 적합하기 때문이다.

### 2.1. CBM 생성과정 및 특성

CBM은 전통가스에서 나타나는 메탄 생성이동추출 등의 메커니즘과는 다른 형태의 특성을 띄고 있다. 즉 CBM은 석탄이 생성되는 전 과정을 통해서 형성되어 석탄 표면의 작은 구멍에 부착되어 있다. 가스 포집을 위해 가스정을 설치하면 탄층내의 수압이 낮아져서 처음에는 다량의 물이 배출되다가 점진적으로 물 배출이 줄고 가스 배출량이 증가한다. 석탄층 내에서의 메탄 이동은 탈착, 확산을 거쳐 유체 흐름의 과정으로 이루어지며 메탄 생산량은 초기에 빠른 속도로 증가하다가 최대 생산량에 도달한 후에는 생산량이 완만하게 감소한다. 메탄가스의 약 98%는 미세 공극 내에서 분자 형태로 흡착되어 있고, 약 2%는 자연 균열에 압축되어 있거나, 지층수에 흡착되어 있다. 석탄층의 메탄 저장능력은 같은 깊이와 압력 하에서 전통가스와 사암 또는 저류암에 비하여 2~3배 정도 높다. 일반적으로 비교적 고온인 심부에 있는 등급이 높은 석탄은 메탄 함량이 높아서 간혹 석탄 채굴현장에서 폭발을 일으키는 주범이지만 개발 기술이 확보되면 차세대 에너지원으로 활용될 여지가 많다. 따라서 CBM은 근원암인 동시에 저류암 역할을 한다. 일반적으로 지하수면 상부에 위치한 석탄층은 가스로 포화되어 있지만 지하수면 하부에 위치한 석탄층은 물로 포화되어 있어 굴곡이 심한 지역의 석탄층은 대체적으로 메탄가스를 많이 포함하고 투수율도 높으나 지하 2,000m 이하의 탄맥은 경제성의 저하로 개발이 용이하지 않다. CBM 생산을 위한 인자는 투수율, 균열, 가스이동, 석탄 성숙, 석탄분포, 지질구조 및 분지구조(basin tectonics)를 포함한다.

CBM의 특성은 ① 메탄가스 근원암의 석탄층, ② 메탄가스 저류암의 석탄층 및 ③ 메탄가스 생산 메커니즘이 있다. 열기원의 메탄(thermogenic methane)은

심부에서 50°C 이상으로 온도가 상승함에 따라 유기물이 변질되면서 생성된 것으로 온도 상승에 따라 메탄 발생증가는 150°C에서 최고에 달한다. 이는 메탄가스 근원암으로서 석탄층 혹은 석탄층 내 메탄이다. 유기물에 의한 메탄(biogenic methane)은 탄화 초기의 50°C 이하의 온도를 갖는 얇은 곳에서 미생물 분해 작용에 의해 유기물이 분해되어 생성된 ‘습지 가스(marsh gas)’로, 주로 토탄이나 갈탄에서 발생되어 석탄 내에 흡착된 가스 중에서 탈착될 수 있는 가스는 전체의 70~95%정도, 무연탄의 경우 전체량의 약 95%정도로서 석탄에 흡착되어 있는 메탄가스, 탄층의 탄화정도와 심도에 따른 메탄가스 부착능력과 메탄 함유능력은 무연탄이 가장 크고 심도 증가에 따라 증가한다. 석탄의 근원 물질인 식물질이 열과 압력을 받는 탄화과정에서 발생된다(Yum *et al.*, 2008).

## 2.2. CBM 부존 생산현황

CBM은 주요 부존 국은 Fig. 1-a에서 보는 바와 같이 중국, 인도네시아, 오스트레일리아 및 미국 등 주요 석탄 부존 국에 대규모로 부존되어 있다. 이는 CBM이 석탄층에 존재하고 있어 CBM 매장량은 석탄 매장량과 높은 상관관계를 가지고 있기 때문이다. CBM 생산은 이들 국가에서 생산되고 있으며, 특히 미국은 1990년대부터 상업적인 CBM 생산이 시작되어 2010년 기준 전 세계 CBM 생산량의 약 70%를 차지하고 있다. 세계적으로 매장량을 보면 166 ~ 692 × 1,012 m<sup>3</sup>로 LNG로 환산하면 1,300억~5,500억 톤 규모로 추산된다. 주요 국가의 CBM 매장량은 CIS(독립국가연합) 11.4 tcm (tcm: Trillion cubic meter), 중국 11.2 tcm 호주 4.5 tcm, 미국 4.0 tcm 및 기타 8.1tcm이다(Fig. 1-b).

특히 2011년 말 잔존하고 있는 기술적 회수 가능한

CBM 자원량을 기준으로 하면 47tcm으로 추정되며, 추정된 자원량 가운데 약 30%가 경제성을 가지고 채굴이 된다면 2011년 가스 소비량(8.29bcm(billion cubic meter)/d) 기준으로 하여 앞으로 전 세계가 약 4.4년 동안 사용할 수 있는 물량이다.

## 2.3. CBM 개발기술의 특성

CBM은 가스로 변환하는 근원암이 저류암의 역할을 동시에 하기 때문에 근원암에서 직접 CBM을 생산할 수 있다(Fig. 2-a). 이런 특성 때문에 초기에는 CBM은 석탄을 채굴하는 과정에 포함되지 않고 자연스럽게 배출되었고, 석탄광산의 폭발 사고를 야기할 수 있어서 안전을 위해 인위적으로 배출을 시키기도 하였다. 하지만 최근에는 이러한 안전문제 뿐 아니라 메탄가스에 따른 환경문제, 그리고 경제적 고려까지 고려하여 포집 및 추출이 진행되고 있다.

CBM 개발의 핵심기술은 Fig. 2-b에서 보는 바와 같이 석탄층 내 미세공극 속에 흡착되어 있는 메탄을 효과적으로 생산하는 것이다. 일반적으로 CBM 생산에 적합한 석탄층은 탄화과정에서 자연적으로 나타나는 결(cleats) 또는 열극을 따라 매우 촘촘한 간격을 유지하는 형태의 탄층이 대상이다. 이러한 결은 CBM 생산시 가스가 석탄층에서 탈착되어 이동하는 경로가 된다. CBM 생산은 석탄층 내 압력을 낮춰 석탄층에 흡착된 가스를 탈착시킨다. 탈착된 가스는 균열 내에 유리된 가스(free gas) 형태로 열과 열개를 통해 가스정에 도달되어 생산된다.

CBM 개발의 주요 이슈는 석탄 층 내 압력을 낮춰 석탄층에 흡착된 가스를 탈착시키는 것이다. 전통적 가스개발에 비해 상대적으로 소규모 장비 투입으로 작업을 진행 할 수 있어 개발비용 절감을 통해 사업 경제

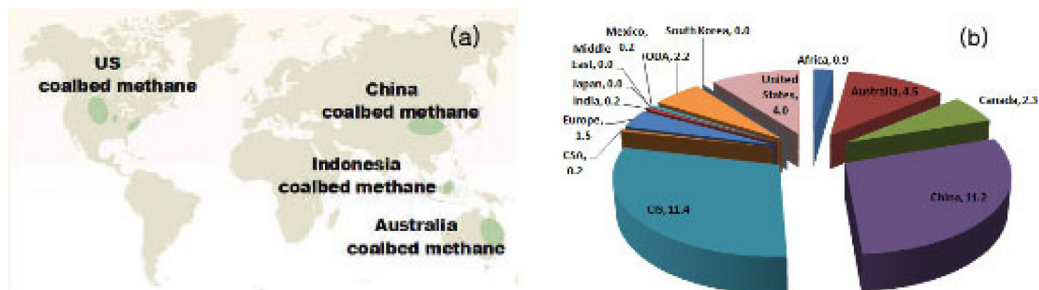


Fig. 1. The major producing countries in the world(a), and reserves(b) in the unconventional CBM(unit: tcm, after Christophe McGlade, 2103).

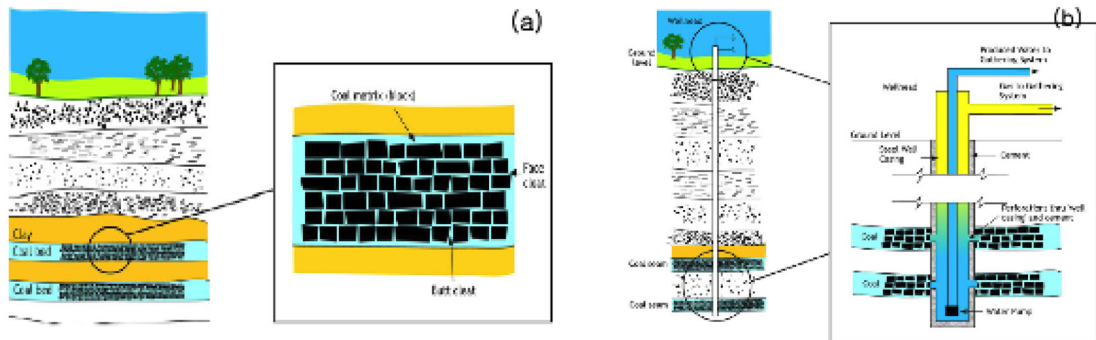


Fig. 2. Representative diagram of coal seam indicating presence of 'cleats'(a) and CSG production well schematic(b)(after Nigel J. Unsworth, 2010).

성을 향상을 시킬 수 있다. 생산초기에는 대부분 지층 수만 생산되지만 시간이 경과하면서 석탄층내의 압력 저하로 가스가 석탄층에서 탈착되어 가스 생산량이 증가된다. 가스 생산으로 생산된 지층수는 염분을 함유하고 있어서 물을 지하암반에 재주입을 하는데 이로 인해 환경오염을 야기한다. 한편 CBM은 광범위한 석탄층에 넓게 분포되어 있으므로 많은 수의 생산정을 착정하여야 한다.

CBM 개발기술의 지속적인 발달은 CBM 생산량의 빠른 증가를 가능케 했지만 기술의 지속적인 발달은 향후 CBM 사업 성장에 관건이 되고 있다. 최근에는 기존의 탈수방법을 사용하지 않고 이산화탄소를 석탄층에 직접 주입함으로써 메탄가스를 치환하는 ECBM (Enhanced CBM) 방법을 추진 중이다. 증진CBM회수 방법(ECBM사업)은 특히 교도 의정서 발효 이후 온실가스 배출규제와 배출권 거래시행이 공식적으로 이뤄지면서 이산화탄소 의무 감축과 관련하여 탄소 배출권 거래사업 등과 연계하여 추진할 수 있는 매력적인 사업으로 평가되고 있다. 석탄 보유국들은 국제 온실가스 배출규제에 대처하고 에너지자원 확보개념으로 CBM 개발에 초점을 맞추고 있다. 오늘 날 CBM 산업의 개발 이용형태는 석탄개발지역에서 행해지는 채탄 행위 중심으로 채탄 전(CMM: Coal-mine methane) 메탄, 채탄 후(AMM: Abandoned mine methane) 메탄 및 자연 탄층 내의 메탄(VCBM: Virgin coalbed methane) 등으로 분류되는 반면에 채굴 동시(VAM: Ventilation Air Methane) 메탄을 에너지로 이용한 연소기술이 실용화되고 있다. 일반적으로 CMM과 AMM 광산 산업과 VCBM의 활동 영역은 천연가스 산업 활동의 영역이라는 것을 알 수 있다.

### 3. 국내 현황

2000년대 이전에는 CBM 분야에 대한 국내 연구는 없었으며, 단지 가스와 관련한 탄광의 가스사고 방지를 위한 갱내통기에 관련된 연구만 수행되었으며 현재도 가행탄광은 갱내 유출가스를 대기 중으로 배출을 하고 있다. CBM은 주로 유연탄이 분포하고 있는 지층에서 개발을 하고 있으나 최근에 지구조 작용에 의한 후차적으로 형성된 탄층 내 소규모 절리, 균열 및 단층 등이 가스 통로 역할을 할 수 있다고 밝혀짐으로 무연탄도 CBM 자원 대상으로 인식되었다(Park, 2003). 그 이후에 CBM에 관련하여 한국지질자원 연구원 Park *et al.*(2005)과 Kho *et al.*(2008)에 의해서 연구가 진행되었다.

우리나라의 석탄매장량은 15억 톤 규모이며 석탄층 메탄가스 생산가능량은 최대 36.8bcm로 추정되는데 이것은 천연가스 2,600만 톤 규모로서 2011년도 국내 천연가스소비량 3,357만 톤의 0.78배 규모이다.

Ayers, W.B. *et al.*(1990)은 CBM 자원을 평가할 때 대상 석탄층의 가스함유량이 5.7m<sup>3</sup>/ton 이상이면 경제적으로 생산 가능성이 있다고 언급하였다. 이론적인 개발가능 가스함유량은 석탄 톤당 5.7m<sup>3</sup> 이상이며 미국의 경우에는 개발 가능한 가스함유량을 석탄 톤당 7m<sup>3</sup>을 적용하고 있고 중국은 석탄 톤당 8m<sup>3</sup> 이상이 되어야 경제성이 있는 것으로 판단하고 있다. 국내는 in-situ 상태에서 무연탄 자원이 함유하고 있는 가스량을 측정할 한 자료는 별로 없으며, 국내 무연탄의 가스함유 현황을 파악하기 위한 시추한 실적은 없다. 그러나 갱내 막장 노두탄을 기준으로 총 가스 함량을 조사한 결과, 경동탄광 본갱 9편이 석탄 톤당 4.5-5.5m<sup>3</sup>,

함백탄광 함백갱은 4.9 m<sup>3</sup>, 삼탄 북부갱은 2.8-4.8 m<sup>3</sup>, 어룡탄광 920갱은 7.1 m<sup>3</sup>의 가스를 함유하고 있어서 이들 광산 심부 석탄층의 가스함량이 높은 것으로 알려졌다(Hayeon52(ECOS), 2007). 한편 국내에서 가스 발생 위험이 있는 탄광을 갑종탄광으로 지정하고 있는데 삼척탄전, 영월탄전, 문경탄전, 충남탄전은 모두 가스폭발에 대비하여 통기시설을 운영하고 있어서 석탄층 메탄가스 부존가능성이 높다.

한국지질자원연구원에서는 국내 석탄층을 대상으로 국내 최초로 대한 석탄공사 도계광업소 지역에서 Dogge #1 공(630m)과 Dogge #2 공(991.7m)의 시추를 시행하여 CBM에 대한 실증연구를 행하였다. 2개 지역에 수행된 원위치 기준의 가스 저장 능력에 있어서 석탄의 저장 능력은 평균 374.3(47.7~536.1)scf/ton, 탄질세일은 평균 127.8(30.9~304.8)scf이며, 원위치 기준 Langmuir volume은 석탄이 평균 752.8(85.8~1056.3)scf/ton, 탄질 세일은 평균 234(75.9~535.0)scf/ton으로 측정되었다. 향후 CBM 탐사개발은 메탄가스 이동의 가능성이 존재하는 지역을 배제하고, 메탄가스가 이동되어 형성된 가스집적 지역을 추적해야 한다고 언급했다(Kho *et al.*, 2008).

#### 4. CBM 학술 정보 분석

##### 4.1. 개요

학술분석에 사용된 Web of Science의 데이터베이스는 1899년부터 현재까지 자료가 수록되어 있는 과학 잡지로서, 150개 과학 분야에 걸쳐 7,100개 이상의 주요 잡지에 색인을 완전히 부여하고 있다. 이 데이터베이스(SCI-Expanded)에 발표된 CBM 관련된 문헌정보 분석은 1990년도를 기준으로 하여 2012년까지 “Web of Science”(URL: <http://apps.isiknowledge.com>)에서 ‘title = coal bed methane\*’가 포함된 문헌을 검색한 결과 109편이 확인되었으며, 이들을 연도별, 국가별, 연구기관별 및 연구 분야별 현황을 분석하였다. 한편 논문의 수준분석의 수준 지수(level index)는 측정 학술분야 전체 논문의 평균 피인용 수에 대한 특정 발표된 논문의 평균 피인용 수의 비로 피인용 수에 기반을 둔 논문의 질적 수준 평가 지표를 의미하는 것이다. 수준 지수가 1.0인 경우 특정 발표한 논문의 평균 피인용 수가 해당 분야 전체 논문의 평균 피인용 수와 같음을 의미하며, 1.0을 초과할 경우는 해당 분야의 평균 피인용 수에 비하여 높음을 의미한다.

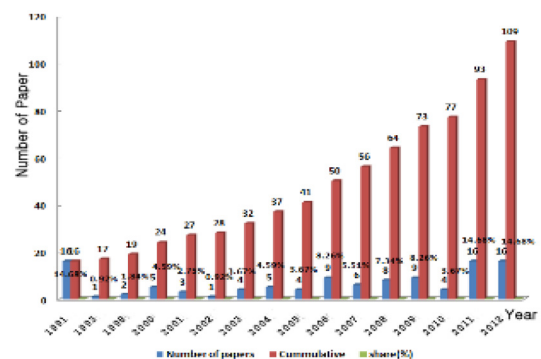
**Table 1.** The trend of number of published papers in the world

Ranking	Year	No	Cumulative	Share% (109)	CPP
1	1991	16	16	14.68	0.25
2	1993	1	17	0.92	8.00
3	1998	2	19	1.84	1.00
4	2000	5	24	4.59	7.20
5	2001	3	27	2.75	0.00
6	2002	1	28	0.92	18.00
7	2003	4	32	3.67	0.00
8	2004	5	37	4.59	2.20
9	2005	4	41	3.67	10.25
10	2006	9	50	8.26	7.56
11	2007	6	56	5.51	7.67
12	2008	8	64	7.34	10.88
13	2009	9	73	8.26	4.00
14	2010	4	77	3.67	5.50
15	2011	16	93	14.68	2.19
16	2012	16	109	14.68	0.25

No: No. of paper; CPP: Citation per paper

##### 4.2. 연도별 논문 편수

Table 1과 Fig. 3에서 보는 바와 같이 CBM에 관한 연도별 연구 현황은 1991년과 2011년, 2012년에서 16편으로 가장 많다. 피인용 지수에 의한 수준 지수의 순위는 2002년 18.00, 2008년 10.88 및 2005년 10.25를 보여 주고 있어서 이들의 해당분야의 질적 수준이 다른 해보다 높음을 알 수 있다. 또한 이들 연도와 관련된 학술지를 살펴보면 1991년도에 발표된 학술지는 ‘AAPG Bulletin(American Association of Petroleum Geologists)’ 학술지가 주를 이루고 있다.



**Fig. 3.** The trend of number of published papers in the world.

**Table 2.** The ranking of major country for published papers

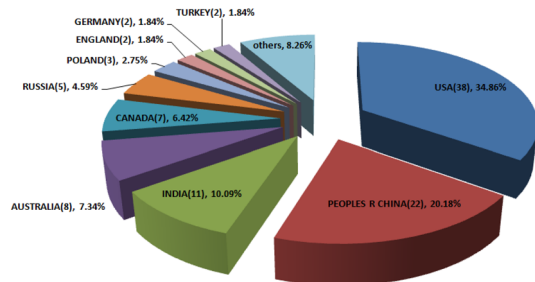
Ranking	/Country	No	share% (109)	CPP	Q
1	USA	38	34.86	5.82	1.52
2	India	22	20.18	2.68	0.7
3	Australia	11	10.09	11.38	2.971
4	Canada	7	7.34	8.43	2.201
5	Russia	5	6.42	1.20	0.313
6	Poland	3	4.59	5.33	1.392
7	England	2	2.75	6.00	1.567
8	Germany	2	1.84	7.00	1.828
9	Turkey	2	1.84	1.00	0.261
10	Czech Rep	1	0.92	6.00	1.567
11	Italy	1	0.92	11.00	1.872
12	Japan	1	0.92	6.00	1.567
13	Netherlands	1	0.92	11.00	1.872

No: No. of paper; CPP: Citation per paper; Q: Level index

2011년은 Energy 분야와 Engineering 분야의 학술지가 각각 16편중에서 5편을 보여주고 있다. 이는 CBM에 관심을 가진 1991년도에는 지질학 분야가 우세한 것은 석탄자원에 대한 대체 에너지자원 확보 목적을 가진 것으로, 이후에 점진적으로 지질학 분야 이외의 다른 학문분야의 증가는 확인된 대체자원을 실제 자원으로 사용하기 위한 기술개발에 연구 목적을 둔 것으로 생각된다.

**4.3. 저자의 국가별 분석**

CBM에 관련된 논문 저자들의 국적을 분석한 결과, 세계적으로 18개 국가에서 CBM에 관련된 연구가 수행된 것으로 나타났다(Table 2와 Fig. 4). 발표된 연구 논문을 분석한 결과, 논문을 가장 많이 발표한 국가별 순위는 미국이 38편으로 가장 많고, 다음은 인도 22편,



**Fig. 4.** The major country for published papers.

호주 11편 및 캐나다 7편을 보여 주고 있다. 국가별 논문 수준 지수를 피인용 관점에서 분석한 결과, 호주가 2.971로 가장 높으며, 다음은 캐나다 2.201을 보여 준다. 한편 논문 발표수와 수준지수의 상관관계에 있어서 미국의 발표논문수가 38편인데 수준지수는 1.52를 보여주므로 해당분야 전체 논문의 평균 피인용 수보다 약간 높다. 반면에 인도는 발표논문 수는 22편으로 높으나 수준지수는 0.7, 러시아는 발표 논문 수는 5편이나 수준지수는 0.313을 보여주므로 해당분야 전체 논문의 평균 피인용 수에 미치지 못하므로 질적 수준이 표준 이하를 보여주고 있다. 한편 한국은 국제적으로 ‘Web of Sciences’에 관련된 학술지에 발표된 논문을 확인할 수 없었다.

**4.4. 연구기관별 분석**

Table 3와 Fig. 5에서 보는 바와 같이 발표 논문 수는 Chinese Academy of Sciences와 US Geol. Survey가 각각 7편으로 수위를 차지하고 있다. 논문의 질적 수준은 Indiana University와 Penn. State University가 4.86, 다음은 US Geol. Survey가 3.2, Chinese

**Table 3.** The trend of ranking of major institute for published papers

Ranking	Institute	No	share(%)	CPP	Q
1	Chinese Academy of Sci.	7	6.422	7.00	1.828
1	U.S. Geol. Survey	7	6.422	12.14	3.17
2	China Univ. Min. Technol.	4	3.670	1.75	0.457
2	Russian Acad. Sci.	4	3.670	1.25	0.327
3	Banaras Hindu Univ.	3	2.752	1.00	0.261
3	Indiana Univ.	3	2.752	18.67	4.875
3	Penn State Univ.	3	2.752	18.67	4.875
4	Albert Geol. Survey	2	1.835	0	
4	Anhui Univ. Sci. Technology.	2	1.835	1	0.261
4	Birbal Sahni Inst. Paleobot.	2	1.835	0.5	0.131

No: No. of paper; CPP: Citation per paper; Q: Level index



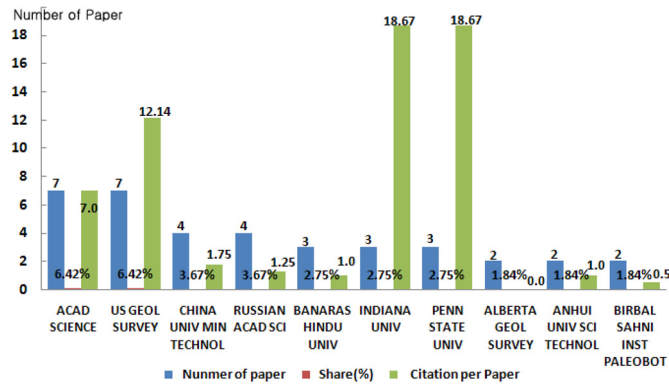


Fig. 5. The trends of ranking major institute for published papers.

Table 4. The ranking of major field of sciences for published papers

Ranking	Field of Sciences	Web of Sciences		Research Areas		CPP	Q
		No	(%)	No	(%)		
1	Energy Fuels	57	52.29	57	52.29	11.47	1.275
2	Engineering	58		55	50.46	9.52	1.059
3	Geology	1	0.92	41	37.62	9.13	1.016
4	Environ. Sci. Ecology	10	9.17	10	9.17	8.44	0.939
5	Chemistry	5		9	8.26	6.85	0.762
6	Geochemistry Geophysics	6	5.51	6	5.51	6.62	0.736
7	BioTechnology Applied Microbiology	5	4.59	5	4.59	17.18	1.911
8	Mining Mineral Processing	4	3.67	4	3.67	1.85	0.206
9	Resources Sciences			4	3.67	10.81	1.203
10	Science Technology other Topics			3	2.75	4.50	0.501

No: No. of paper; CPP: Citation per paper; Q: Level index

Academy of Sciences가 1.83을 보여 주고 있다. 문용 인용 수에 있어서는 Indiana University와 Penn. State University가 18.7, US Geol. Survey가 12.14 그리고 Chinese Academy of Sciences가 7.0을 보여 주고 있다. China Univ Min Technol과 Russian Acad Sciences는 발표 논문 수는 각각 4편이나 수준 지수를 보면 각각 0.457, 0.327를 보여 주고 있다. 이는 해당분야 전체 논문의 평균 피인용 수에 미치지 못하므로 질적 수준이 표준 이하를 보여주고 있다.

#### 4.5. 연구 분야별 분석

CBM에 관련된 연구 분야(Table 4)는 공학 분야와 에너지 연료분야가 각각 58편과 57편을 보여 주고 있다. 그러나 지구과학 분야인 지질학 분야는 ‘web of sciences’의 범주 내에서는 1 편인데 반하여 연구 분야에서는 41편을 보여주고 있다. 이는 CBM 개발에 있어서 지질학 분야가 다른 연구 분야들과 연계하여 다

양한 융합 연구를 수행하고 있음을 시사한다. 질적 수준을 나타내는 수준지수에 있어서 BioTechnology & Applied Microbiology 분야는 1.9, Energy Fuels 분야는 1.27, Resources Sciences 분야는 1.2를 보여 주고 있다. Environmental Science & Ecology 분야는 발표 논문 수가 10편인데 반하여 수준지수는 0.94를 보여주고 있어 이 분야 전체 논문의 평균 피인용 수에 미치지 못하므로 질적 수준이 표준 이하를 의미한다.

#### 5. 결 론

1990년도를 기준으로 하여 2012년까지 “Web of Science”(URL: <http://apps.isiknowledge.com>)에서 ‘title = coal bed methane’가 포함된 문헌을 검색하여 이들을 연도별, 국가별, 연구기관별 및 연구 분야 현황을 분석한 결과는 아래와 같이 요약할 수 있다.

- 1) CBM에 관한 연도별 연구 현황은 1991년과 2011, 2012년에서 16편으로 가장 많았으며, 피인용 수에 의한 수준지수의 순위는 2002년 18.00, 2008년 10.88 및 2005년 10.25를 보여주므로 이들 해의 질적 수준은 다른 해보다 높음을 알 수 있다.
- 2) CBM 논문저자의 국가별 현황을 살펴보면 미국, 인도, 호주 순위로 각각 38편(34.9%), 22편(20.2%) 및 11편(10.1%)을 발표하였으나 한국은 발표된 논문을 확인할 수 없었다.
- 3) 기관 별 논문발표 순위는 Chinese Academy of Sciences와 US Geol. Survey가 각각 7편으로 수위를 차지하고 있다. 한편 논문의 질적 수준은 Indiana University와 Penn. State University가 4.86, 다음이 US Geol. Survey가 3.2, Chinese Academy of Sciences가 1.83을 보여 주고 있다.
- 4) CBM에 관련된 연구 분야에서는 공학 분야와 에너지 연료분야가 각각 58편과 57편을 보여 주고 있다. 한편 지구과학 분야인 지질학 분야는 ‘Web of Sciences’의 범주 내에서는 1편을 보여 주고 있으나 연구 분야에서는 41편을 보여 주고 있다.

## 사 사

이 글은 한국과학기술정보연구원(KISTI)이 수행하고 있는 미래창조과학부의 과학기술진흥기금과 복원기금 출연사업인 고경력 과학기술인을 활용한 “지원 사업(ReSEAT Program)”의 일부이다. 심사과정에서 미비한 점을 꼼꼼하게 지적하고 조언을 하여 주신 심사위원들에게 깊이 감사를 드립니다.

## 참고문헌

- Ayers, W.B., Kaiser, W.R., Ambrose, W.A., Swartz, T.E. and Laubach, S.E. (1990) Geologic Evaluation of Critical Production Parameters for Coalbed Methane Resources, Part I, San Juan Basin, Annual Report, GRI-90/0012.14.1, 1-175.
- Yum, B.W., Kho, H.J., Ko, D.C., Hwang, S.H., Kim, T.H., Ko, K.S. and Park, S.W. (2008) The study on the CBM development at the Dogge area, The 2008 Joint Conference of the Geological Science & Technology of Korea, 142-142.
- Christophe Mc., Jamie S. and Steve S. (2013) Unconventional gas - A review of regional and global resource estimates, Energy, 55, 571-584.
- Hwang, K.S. (2010) The technical, economical characteristics of CBM industry, KOGAS, CGEM, 16-27.
- Kho, H.J., Ko, K.S., Ko, D.C., Ki, W.S., Kim, G.W., Kim, B.C., Kim, T.H., Park, S.W., Park, I.W., Yum, B.W., Lee, S.U., Lee, S.R., Choi, B.Y. and Hwang, S.H. (2008) Exploration of coalbed methane, KIGAM, 2005-R-ER02-P01-0-000, 1-356.
- Park, S.W. (2003) Domestic gas resource potential of coal bed methane, The 2003 Conference of the KSEEG, 213-216.
- Park, S.W., Kim, B.C., Kho, H.J., Choi, S.W., Hwang, S.H., Lee, W.S. and Sim, P.W. (2006) Planning research project on coal bed methane(CBM) potential for Korean Anthracite and possibility of its utilization, KIGAM, 2004-R-RD04-P-01, 1-195.
- Nigel J. Unsworth (2010) LNG FROM CSG - CHALLENGES AND OPPORTUNITIES, 2-6.
- Hayeon52(ECOS) (2007) coal bed methane, <http://blog.naver.com/hayeon52/90021620723>
- Web of Science (2013) (URL: <http://apps.isiknowledge.com>)

2013년 6월 7일 원고접수, 2013년 7월 18일 1차수정, 2013년 8월 4일 게재승인