


# 대용량 CO<sub>2</sub> 해양지중 저장 옵션에 대한 독립 평가 (네덜란드)

 **innovation**  
for life

Energy/Geological Survey of  
the Netherlands  
Leeghwaterstraat 46  
2628 CA Delft  
P.O. Box 6012  
2600 JA Delft  
The Netherlands  
[www.tno.nl](http://www.tno.nl)  
T +31 88 866 2200  
F +31 88 866 0630  
infodesk@tno.nl

**TNO report**

**TNO-060-UT-2012-00414 / B**

Independent assessment of high-capacity  
offshore CO<sub>2</sub> storage options

Date March 2012

Author(s) Filip Neele  
Johan ten Veen  
Frank Wilschut  
Cor Hofstee


Copy no.  
No. of copies  
Number of pages 93 (incl. appendices)  
Number of  
appendices  
Sponsor  
Project name FCI-ISA Phase 3  
Project number 09S.01.260

All rights reserved.  
No part of this publication may be reproduced and/or published by print, photoprint,  
microfilm or any other means without the previous written consent of TNO.

In case this report was drafted on instructions, the rights and obligations of contracting  
parties are subject to either the General Terms and Conditions for commissions to TNO, or  
the relevant agreement concluded between the contracting parties. Submitting the report for  
inspection to parties who have a direct interest is permitted.

© 2012 TNO

**SUPPORTED BY** [Disclaimer](#)



GLOBAL  
CCS  
INSTITUTE

This document is published on the Global CCS Institute's website in the interest of information  
exchange. The Global CCS Institute does not give any representation or warranty as to the  
reliability, accuracy or completeness of the information, nor does it accept any responsibility  
arising in any way (including by negligence) for errors in, or omissions from, the information.

©Global Carbon Capture and Storage Institute Limited 2011 Canberra. Use of this document is  
permitted in accordance with Creative Commons Attribution 3.0 Australia License.



대용량 CO<sub>2</sub> 지중저장 옵션에 대한 독립 평가 (네덜란드)는 편의를 위해 영어에서 한국어로 번역되었다. 글로벌 CCS 연구소는 한국어로 번역된 보고서의 정확도, 진위성과 완성도를 보장하지 않는다.



## 요약

제목 : 대용량 CO<sub>2</sub> 해양지중 저장 옵션에 대한 독립 평가 (네덜란드)

저자 : 필립 닐(Filip Neele), 요한 텐 빈(Johan ten Veen), 프랑크 윌슈트(Frank Wilschut), 코르 홉스티(Cor Hofstee)

일시 : 2012 년 3 월

2010 년, 로테르담 기후 이니셔티브(Rotterdam Climate Initiative : RCI)는 TNO 구축 환경 및 지구과학 분과(Built Environment and Geosciences, TNO)와 네덜란드 북해 해저의 해양지중 CO<sub>2</sub> 저장 지역에서 독립적으로 CO<sub>2</sub> 저장 평가(Independent Storage Assessment : ISA)를 수행하기 위한 계약을 체결하였다. ISA의 목표는 CCS 프로젝트 개발자들에게 CO<sub>2</sub> 저장 후보 지역에 대한 활용 가능성, 기술적 타당성, 저장 용량 및 개발 비용에 대해 보다 높은 확실성을 제공하는 것이다. ISA 1 단계에서는 2015~2020 년 사이에 개발 및 사용될 수 있는 로테르담 인근 해양지중 폐가스전에 대한 CO<sub>2</sub> 저장 가능성이 조사되었다. 이는 초기 CCS 프로젝트를 지원하는 한편, 더욱 적절한 단기 옵션이 간과되지 않도록 하는 목적을 가지고 있었다. 이후, ISA 2 단계에서는 최선의 옵션들에 대해 보다 상세히 연구되었다. 이 보고서의 주제인 ISA 3 단계는 이러한 분석을 확장하여 네덜란드의 대용량 해양지중 CO<sub>2</sub> 저장에 대한 포괄적인 견해를 제공하고자 한다.

### 목적 : 대용량 CO<sub>2</sub> 저장에 대한 수요

이전의 네덜란드 해양지중 저장 옵션에 대한 연구와 더불어, ISA 1, 2 단계에서 이루어진 주요 발견들 중 하나는 긍정적인 단기 전망이 다수 있다는 것이었으나, CCS 상용화를 위해 네덜란드가 구상하고 있는 CO<sub>2</sub> 저장 용량을 충분히 감당할 정도로 큰 규모를 가진 지역들은 드물다고 볼 수 있다. ISA 3 단계의 목적은 상업성을 바탕으로 대규모 CCS 개발을 지원할 수 있는 대용량 해양지중 저장의 가능성에 대해 보다 높은 확실성을 제공하고, 잠재적인 CCS 프로젝트 개발자들에게 그들이 추진하는 프로젝트의 장기적 실행 가능성에 대한 확신을 심어 주는 것이다. 이러한 목적의 중요성은 네덜란드 정부가 추진하는 CO<sub>2</sub> 육상 저장 계획이 지연되면서 더욱 높아졌다.

목표 달성을 위하여, ISA 3 단계는 NOGEP A (2008, 2009), EBN – 가슈인(Gasunie) (2010) 등으로 이루어진 종전의 연구들을 기초로 하여, 다음의 세 가지 연구 방법으로 구성된다.

- 포괄성 : ISA 3 단계는 기존 연구의 데이터 집합과 그에 대한 평가를 실행할 수 있는 모든 저장 옵션으로 확장하였으며, 여기에는 염대수층, 가스전과 가스전 군집에 대한 전략, 유전과 석유 회수 증진(Enhanced Oil Recovery : EOR) 전략 등이 포함된다. 기존까지는 CO<sub>2</sub>의 구조적 포집에 대한 연구만 이루어졌지만, 이번 연구는 CO<sub>2</sub>를 저장할 수 있는 대규모의 연결된 부지를 찾기 위해 염대수층의 분석에 초점을 두었다.

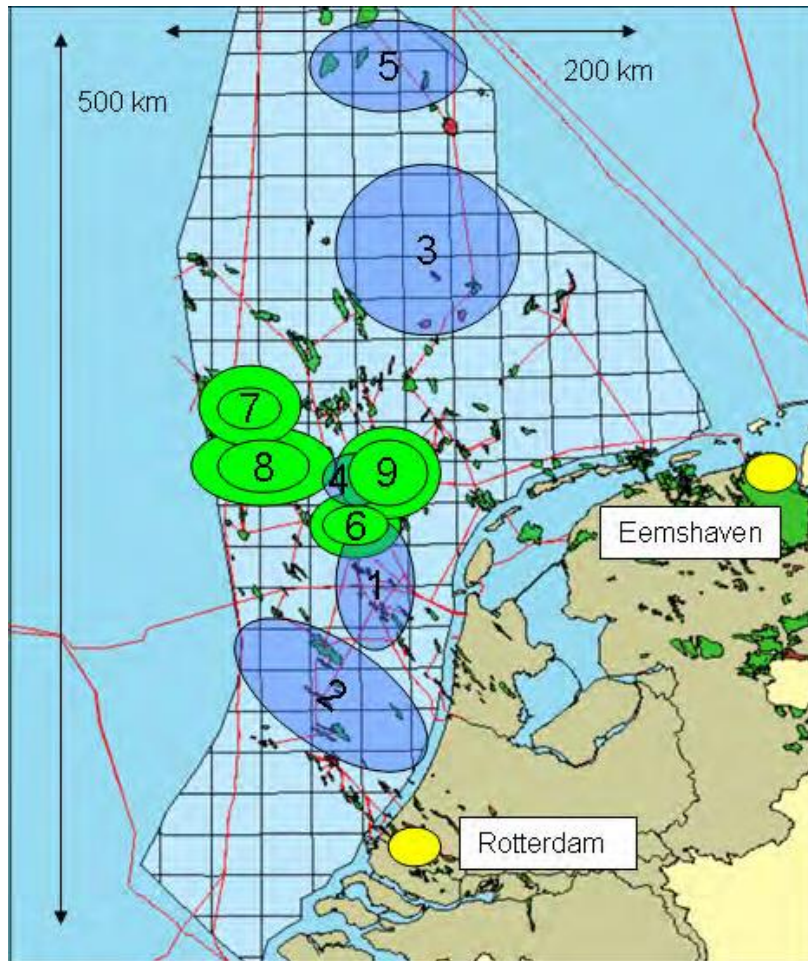


- 지질학적 관점 : ISA 3 단계는 순수하게 지질학적인 면에 초점을 두었다. 이는 연구 결과가 위치, 사용 가능 시기, 또는 기존의 유전과 가스전 기반 시설에 대한 재활용 가능성 등과 무관함을 의미하며, 이를 통해 보다 포괄적인 연구를 수행하면서 불리한 옵션들이 간과되지 않도록 할 수 있었다.
- 수용량 관점 : ISA 3 단계는 염대수층에서 50Mt 이상, 유전 및 가스전에서 40Mt 이상을 수용할 수 있는 저장 부지를 찾는 데 초점을 두었다. 이는 중장기적인 이용에 유리한 새로운 옵션을 파악하고, 수많은 소규모 공간들을 결합하기 위한 복잡한 전략에의 의존을 피하기 위해서이다.

*주요 발견 : 네덜란드 해양지중 대용량 CO<sub>2</sub> 저장에 대한 포괄적 견해*

ISA 3 단계를 수행하면서, 양호한 성능(즉, 양호한 투과성)과 상단으로서 적합한 봉인층을 지닌 모든 저장 공간에 대한 네덜란드 대륙붕(Dutch Continental Shelf : DCS)의 지질학적 지식을 기반으로 지표면 하부의 단층, 저장 공간의 확장과 두께, 다공성 지역 지도에 대한 데이터를 결합하여 잠재적인 저장 구획을 찾아냈다. ISA 3 단계에서 사용된 모든 정보를 포함하는 데이터베이스는 향후에도 이용 가능하다.

ISA 3 단계에 대한 본 보고서는 가장 높은 수용력을 갖는 CO<sub>2</sub> 저장 공간에 대한 평가이며, 해당 지역들은 다음 지도와 표에 나타나 있다. 한 곳을 제외하고는 다른 부지에 대한 데이터량은 극히 제한되어 있기 때문에, 염대수층의 용량 및 주입성 평가는 유전과 가스전 관련 평가에 비해 훨씬 불확실하다는 점이 강조되어야 한다. 석유와 가스가 생산되고 있는 K18 - L16 - Q1 구역에서 기존 ISA 1, 2 단계 연구가 진행되었기 때문에, 해당 지역의 유전을 포함한 염대수층에 대한 평가와 가스전 및 가스전 주변에 대한 평가는 확실성 면에서 비슷한 수준을 가지는 것으로 볼 수 있다.



본 연구에서 확인된 대용량 해양지중 저장 옵션을 표시한 지도. 지도의 번호들은 다음 표의 번호들(표의 첫 번째 열)에 대응됨. 청색 : 염대수층; 녹색 : 폐가스전. 넓은 녹색 원반 모양은 가스전 군집을 나타냄. 지도에 나타난 지역들은 CCS가 진행될 산업 지역인 임스하벤(Eemshaven)과 로테르담(Rotterdam)임

부지	매력도				시급성	불확실성 완화를 위한 추후 단계	
	용량 (Mt)	안정적 주입 비율 (MtCO <sub>2</sub> /yr)	덴헬데르(Den Helder)로부터의 거리 (km)	전반적 복잡성 및 리스크	최소 개발 기간		
K14/15 (#6)	165 (K15-FB의 경우 54)	3[15-20년] 6[5-10년] 9[5년]	60	낮음 - 다수의 부지와 오래된 기반 시설이 있으나 유정(油井)의 리스크는 낮음; 단독 운영되며 지질학적으로 널리 알려져 있음	6년	타당성 조사	
K04/05 (#7)	140 (K05a-A의 경우 40)	2[19년] 3[12년] 5[6년]	120	낮음 - 다수의 부지가 존재함에도 비교적 신형의 기반 시설을 갖춘; 후발 주자로서 먼저 시행된 프로젝트 과정을 참고할 필요가 있음	6년	다른 프로젝트에서의 최선의 수행 관행을 이용 (부지는 다른 CCS 프로젝트들이 가동되고 난 한참 후에 사용 가능)	
K07/08/10 (#8)	195 (K08-FA의 경우 130)	3-6[20+년] 6-12[10+년] 9-18[5+년]	100	보통 - 다수의 부지와 오래된 기반 시설이 있으나 비교적 일부 구역만이 대부분의 용량을 차지함; 여러 개의 오래된 폐정이 있음	6년	타당성 조사, 폐 유정에 초점	
L10/K12 (#9)	175 (L10-CD의 경우 125)	6[17년] 9[10년] 12[4년]	50	높음 - 다수의 리스크 요소가 확인됨	6년 이상	타당성 조사; 운영업체와 즉각 협상 (다수의 부지가 생산 종료 시점에 가까워짐)	
매력도						시급성	불확실성을 감소시키기 위한 다음 단계
염대수층	용량(Mt)	주입성 일차 평가	전반적 불확실성	덴헬데르(Den Helder)로부터의 거리 (km)	쟁점 사항	최소 개발 기간	
Q1 - 초기 백악기 (#1)	110-225	양호: 최대 10 Mt/yr	중간 (B/A)	40 km	유정(油井): 재사용 가능	5년	EOR (Q1 및 P9)과 결합한 타당성 조사
P, Q - 초기 백악기 (#2)	360	양호: 최대 10 Mt/yr	높음 (B)	60 km	h/c 생산과 상충	6-7년	타당성 조사 (1-4 M€)
F15, F18 - 트라이아스기 (#3)	650	1-3 Mt/yr	높음 (B)	150 km	h/c 생산과 상충; 과도한 압력; 낮은 투과성	6-7년	타당성 조사 (1-4 M€)
L10, L13 - 후기 로틀리겐드 (#4)	60	5 Mt/yr	높음 (B)	50 km	h/c 생산과 상충	6-7년	타당성 조사 (1-4 M€)
계단 지구 - 트라이아스기 (#5)	190	1-3 Mt/yr	높음 (B)	200 km	h/c 생산과 상충; 낮은 투과성	6-7년	타당성 조사 (1-4 M€)

### 다음 단계 : CCS 상용화 지원을 위한 충분한 CO<sub>2</sub> 저장 공간 확보

위의 표를 통해 알 수 있듯이, DCS에는 이전에 확인되지 않은 여러 염대수층을 포함하여 일부 유리한 대용량 CO<sub>2</sub> 저장 옵션들이 있다. 이는 CCS 프로젝트 개발자와 이해 당사자들에게는 고무적인 일이지만, 염대수층에 대한 평가는 그 데이터가 제한되어 있어 정보가 불확실하며, 이후 연구를 통해 그 평가가 절하될 수도 있다는 점을 주목 및 상기해야 한다.

그러나, 이들의 높은 전략적 가치와 유리한 초기 평가를 볼 때, 이러한 일부 옵션들에 대한 조사를 추진할 가치가 있다. 뿐만 아니라, 이들 중 일부 또는 전부를 미래 CCS 프로젝트에 활용할 가능성을 확보하기 위해 빠른 시일 내에 적절한 액션을 취해야 할 것이며, 특히 염대수층에 대해 신중히 고려해 봐야 한다. 염대수층은 현재 활용할 수 있는 지질학적 데이터의 양이 부족하고 기존의 기반 시설이 취약하므로, 이들 대부분의 지역에서 실제로 CO<sub>2</sub> 주입이 가능한 정도에 이르기까지 최소 6~7년이 걸릴 것이고, 2020~2025년 실행을 위해선 지금부터 데이터를 수집해야 한다.

이 점을 염두에 두고, ISA 3 단계의 결론을 기준으로 ISA 조사 결과를 활용하기 위해서는 아래 고려 사항들을 반드시 참고하여야 한다. 이러한 설정은 잠재적 CO<sub>2</sub> 포집 프로젝트(Co<sub>2</sub> Capture Project)에 대해 가장 진보된 사고를 가지고 있는 7개의 네덜란드 소재 대규모 이산화탄소 배출원들로 구성된 ISA 운영 위원회와 함께 수행해야 한다. 관련 기준은 다음과 같다.

- 상대적으로 유리한 저장 가능 부지, 위치, 잠재적 수용량 및 주입성, 지역에 따른 특정 위험 요소를 고려할 것.
- 다음 단계 이행의 시급성. 현재의 데이터 수준(유전 및 가스전의 경우에는 미래의 데이터 수준)과 특정 지역의 향후 개발 가능성에 영향을 미칠 수 있는 현 작업들의 실제 개발 추진 일정을 고려할 것.
- 투자 회수 가능성. 각 지점의 추후 단계 이행에 비용이 드는지 여부, 각 추후 단계가 해당 지역의 현재 이해관계와 향후 개발 가능성에 어떻게 기여하는지를 고려할 것.

ISA 연구를 위해 개발된 데이터베이스는 각 요소 관련 기밀 요구 사항에 따라 이후의 CO<sub>2</sub> 저장 타당성 평가 작업에 활용될 수 있다.