Gaussian 압력 천이 기법을 활용한 CO_2 지중저장 시의 저류층 융기 분석 연구

박정균, 전성준, 박준연

2022년 6월 7일

목차

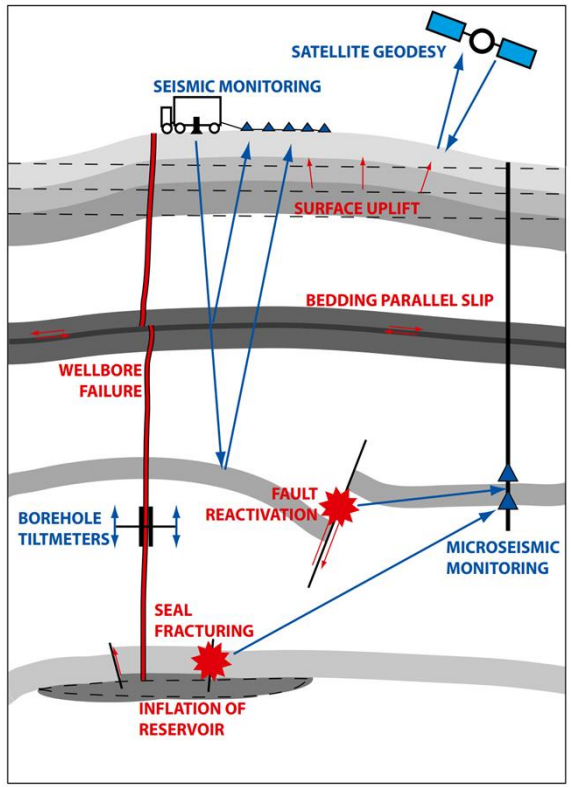
1. 연구배경
2. 연구목적
3. 연구내용
4. 검증 - Krechba 가스전 측정값
5. 적용 - 포항분지, 동해가스전
6. 결론

연구배경

- 파리협정 이행 및 탄소중립 달성을 위해 CCS 적용이 필수적임.
- CCS 3대 지표는 주입성, 격리안정성, 저장용량.

안정적, 영구적 CO_2 격리를 위해 주입에 따른 지구역학적 안정성 검토가 필요.

<CO_2 주입 시 위해요소>



(Verdon et al., 2013)

연구목적

- 지표면 융기/침하 분석
  - ✓ 유체 주입/생산 → 저류층 공급압 상승/하강 → 저류층 두께 변화 → 지표면 융기/침하

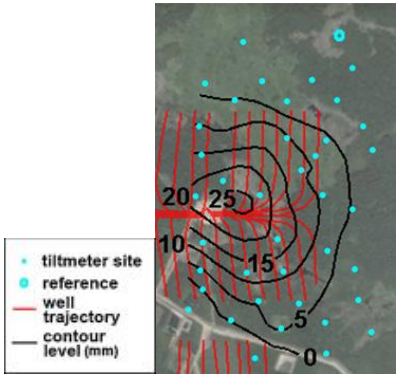
<Las Vegas 지반 침하>



(CMG, 2020)

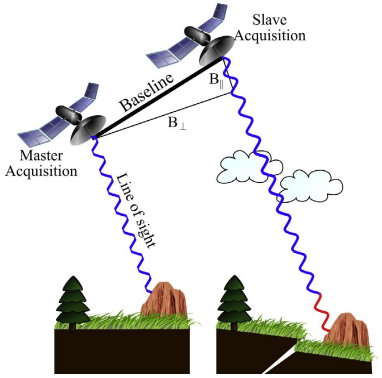
- 측정 방법 (Teatini et al., 2016)
  - ✓ Surface pad, tiltmeter (Leveling monument)
  - ✓ Interferometric synthetic aperture radar (InSAR)

<Tiltmeter 배치도>



(Du et al., 2005)

<InSAR 측정 원리>

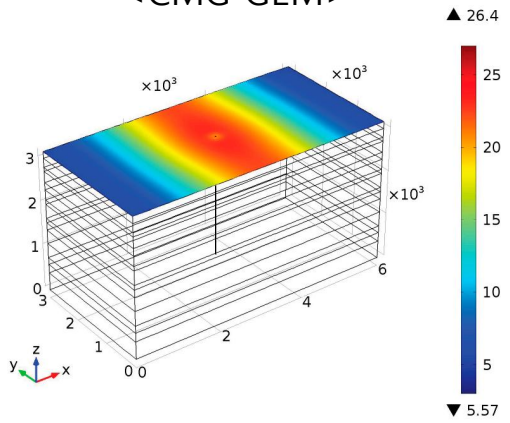


(Osmanoglu et al., 2015)

연구목적

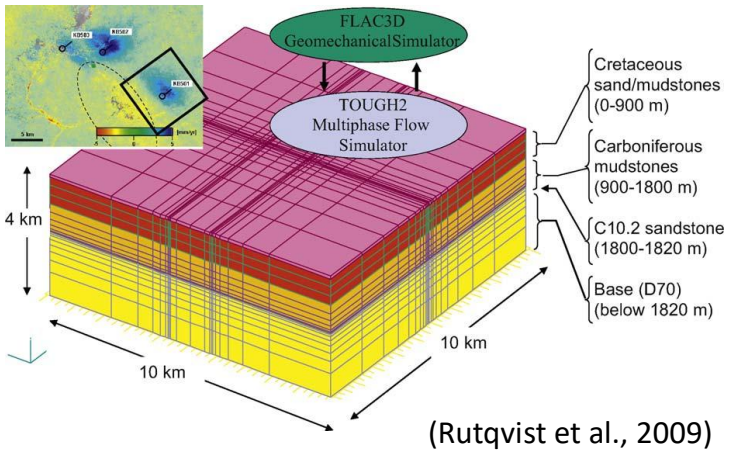
- 기존 모델링 기법
  - ✓ 수치해석적
  - ✓ 계산 시간 ↑
  - ✓ 컴퓨팅 파워 ↑

<CMG GEM>



(Khan et al., 2020)

<TOUGH2-FLAC3D>



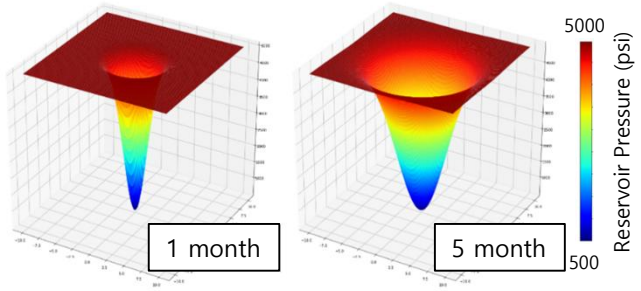
(Rutqvist et al., 2009)

기존 상용 모델링에 비해 직관적인 해석이 가능한 Gaussian pressure transient (GPT)를 통해 포항 분지에 CO_2를 주입 할 경우 예측되는 지반 융기를 계산하고 지반 융기를 완화하는 용도의 감압정 운영 타당성 검토

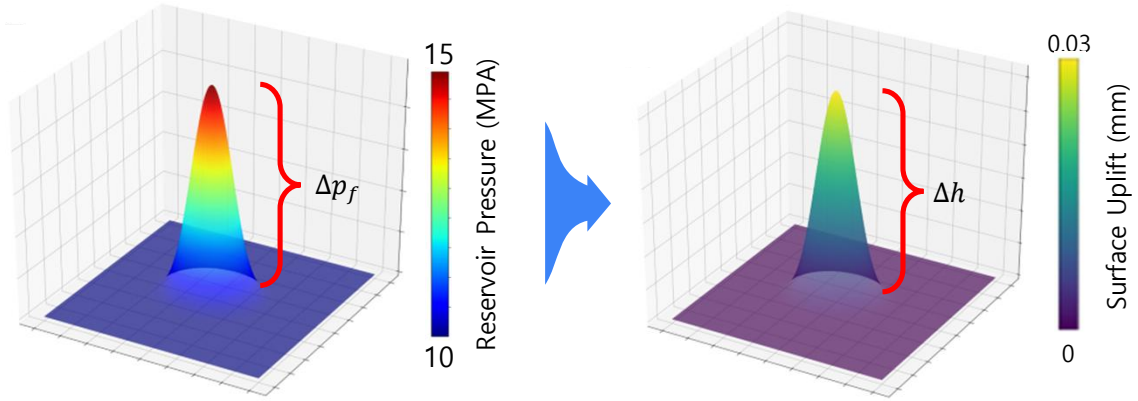
연구내용

- Gaussian Pressure Transient (GPT)
  - ✓ 가우시안 확률 분포로 저류층 순간 압력을 시간에 따라 모사.
  - ✓ 주입 시나리오, 유체, 저류층 특성을 모두 반영한 다각도 해석.
  - ✓ Homogeneous reservoir property 가정. (Weijermars, 2022)

<GPT 도시화>



<공급압 변화> <두께 변화>

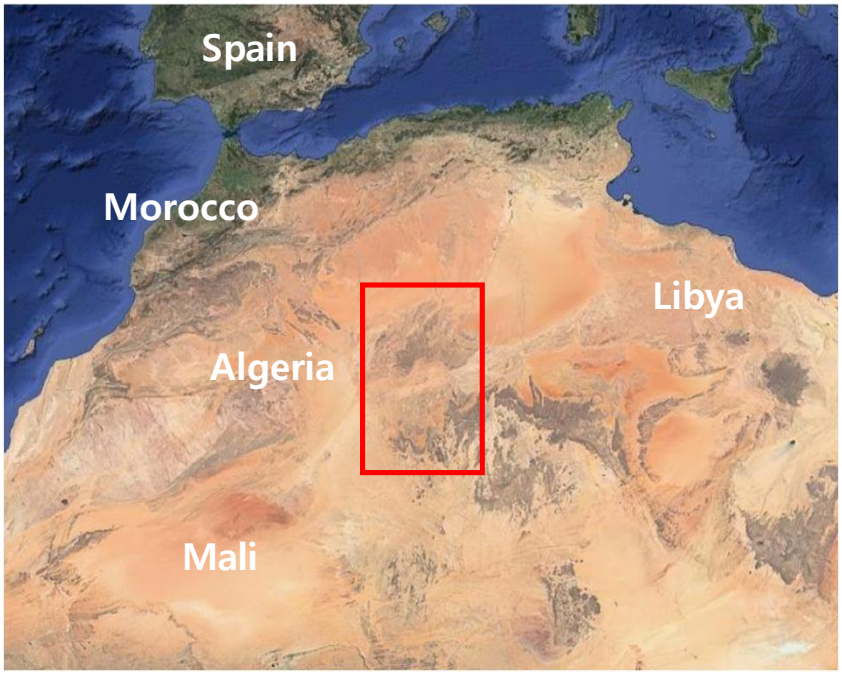


- 융기 분석
  - ✓ 공극압 변화로 야기되는 저류층 두께 변화를 계산.
  - ✓ 저류층의 지구역학적 물성 반영. (Fjaer et al., 2008)

검증 - Krechba Gas Field

PERG Petroleum Engineering & Reservoir Geomechanics Research Group

<위치>



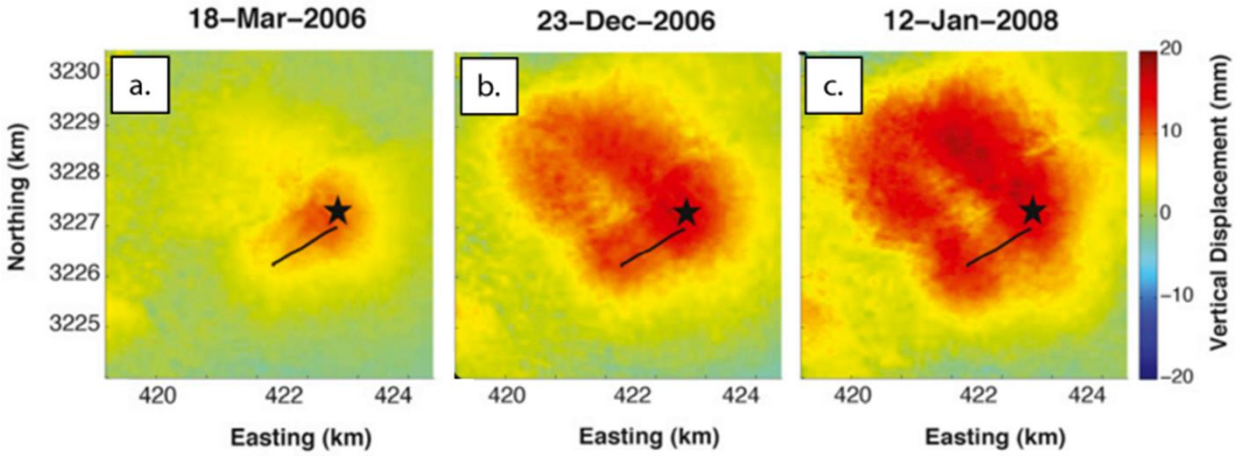
✓ 알제리 중부 내륙지방에 위치.

<저류층 특성>

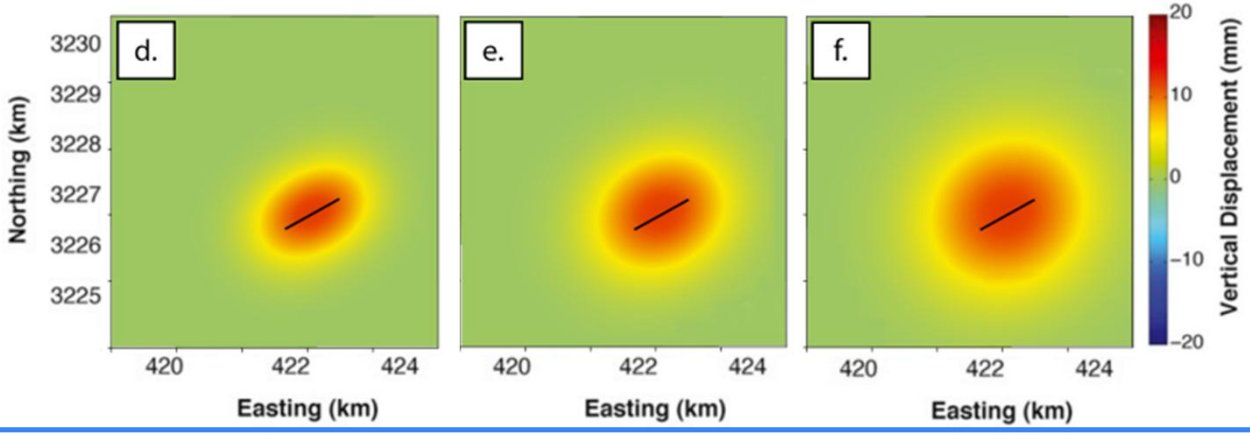
특성	지표	값 (단위)
저류층	압력	18 (MPa)
	주입정 BHP	28 (MPa)
	두께	20 (m)
지구역학적	포아송비	0.20 (-)
	영률	10 (GPa)
	Biot 상수	0.79 (-)
	투과도	8 (md)
	공극률	0.17 (-)
유체	점성도	$3.4 \cdot 10^{-5}$ (Pa·s)
	압축률	$1.2 \cdot 10^{-7}$ (Pa^{-1})

검증 - Krechba 가스전

InSAR 측정값



GPT 계산값



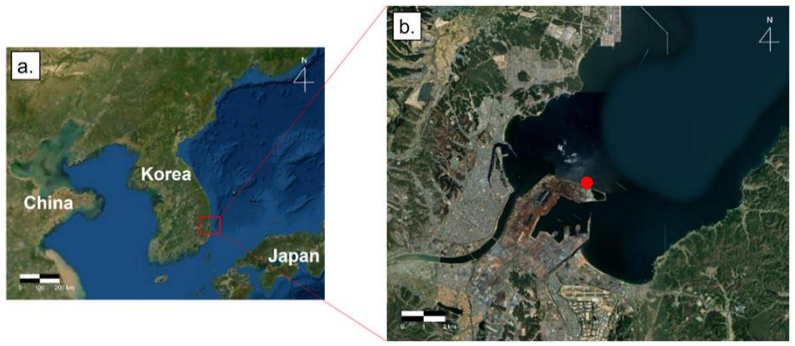
주입기간 (월)	측정값 (mm)	계산값 (mm)
11	10.00	14.22
20	15.00	14.22
33	14.00	14.22

(Rinaldi et al., 2020)

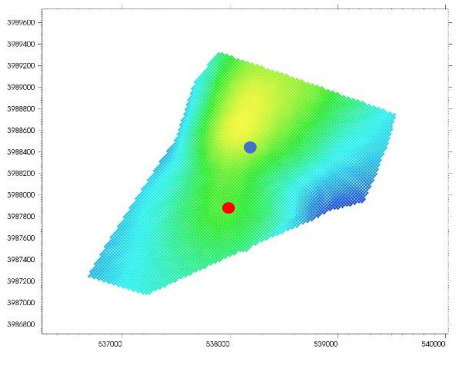
✓ 지표면 융기 분석 결과, 오차 1.6% 이내로 최대 융기 값 매칭.

적용 - 포항분지

<위치>



<CMG 모델>

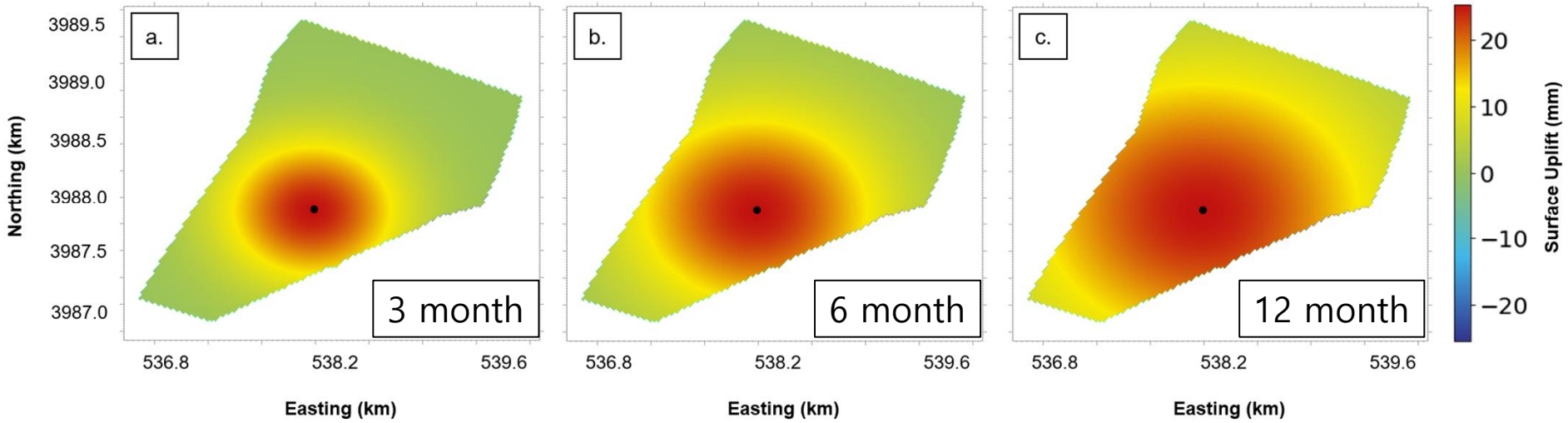


<저류층 특성>

특성	지표	값 (단위)
지층	압력	7.5 (MPa)
	주입정 BHP	14 (MPa)
	두께	11 (m)
지구물리학적	포아송비	0.20 (-)
	영률	2 (GPa)
	Biot 상수	0.79 (-)
	투과도	30 (md)
	공극률	0.20 (-)
유체	점성도	$3.4 \cdot 10^{-5}$ (Pa·s)
	압축률	$1.2 \cdot 10^{-7}$ (Pa^{-1})

결과 - 포항분지

- GPT 활용 지표면 융기 분석

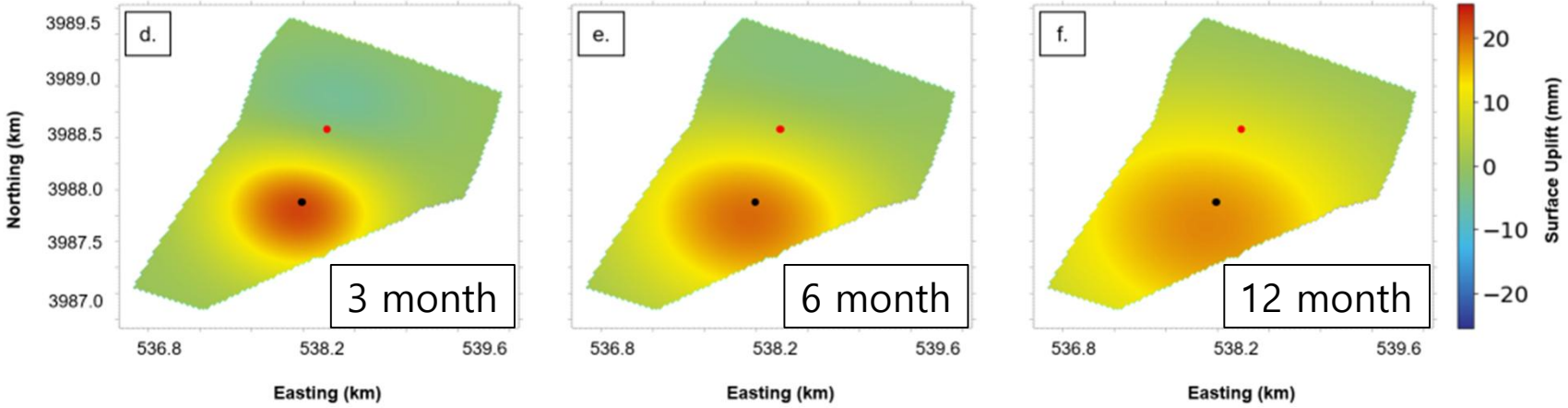


✓ 주입정 위치에서 최대 25.42 mm의 융기 예측.

✓ 주입정에서 멀어질수록 융기 크기 작아짐.

결과 - 포항분지

- 감압정 포함 저류층 융기/침하 분석

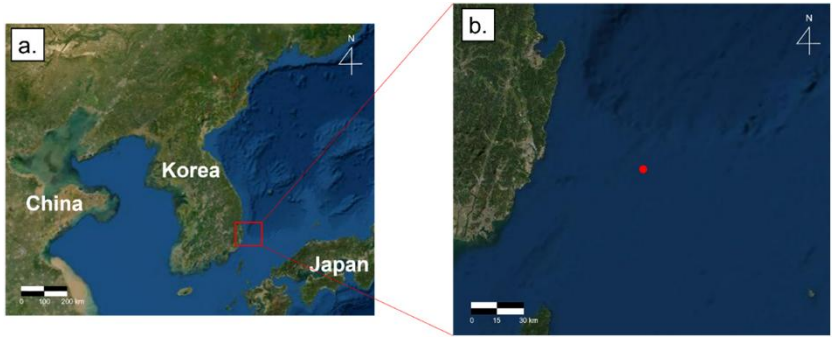


생산/주입 기간 (월)	주입정 + 감압정	
	융기 (mm)	침하 (mm)
3	22.34	5.05
6	20.24	2.62
12	18.51	0.90

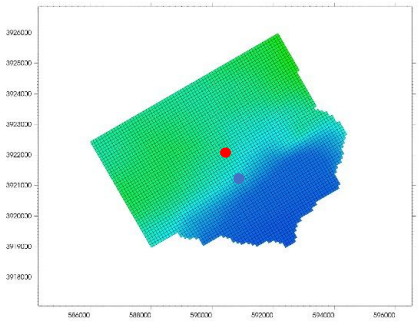
- ✓ 감압정 5 MPa 운영 시 융기: 3.08, 5.18, 6.91 mm 완화.
- ✓ 저류층 침하: 5.05, 2.62, 0.90 mm로 시간에 따라 완화.
- ✓ 감압정 운영은 융기/침하 완화에 효과적인 것으로 분석.

적용 - 동해가스전

<위치>



<CMG 모델>

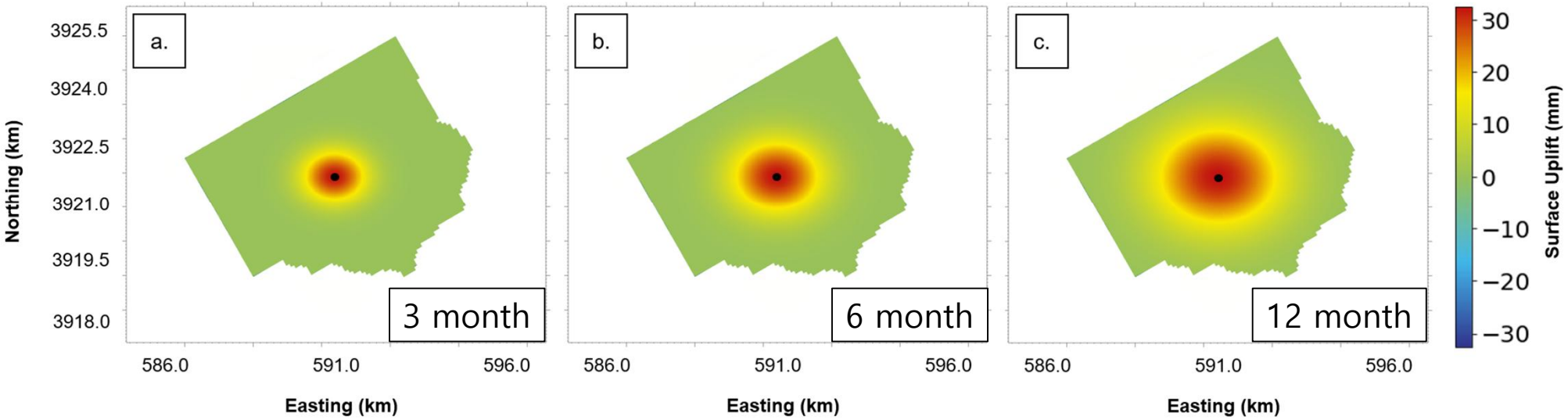


<저류층 특성>

특성	지표	값 (단위)
저류층	압력	25 (MPa)
	주입정 BHP	35 (MPa)
	두께	56 (m)
지구역학적	포아송비	0.20 (-)
	영률	13 (GPa)
	Biot 상수	0.79 (-)
	투과도	50 (md)
	공극률	0.16 (-)
유체	점성도	$3.4 \cdot 10^{-5}$ (Pa·s)
	압축률	$1.2 \cdot 10^{-7}$ (Pa^{-1})

결과 - 동해가스전

- GPT 활용 지표면 융기 분석

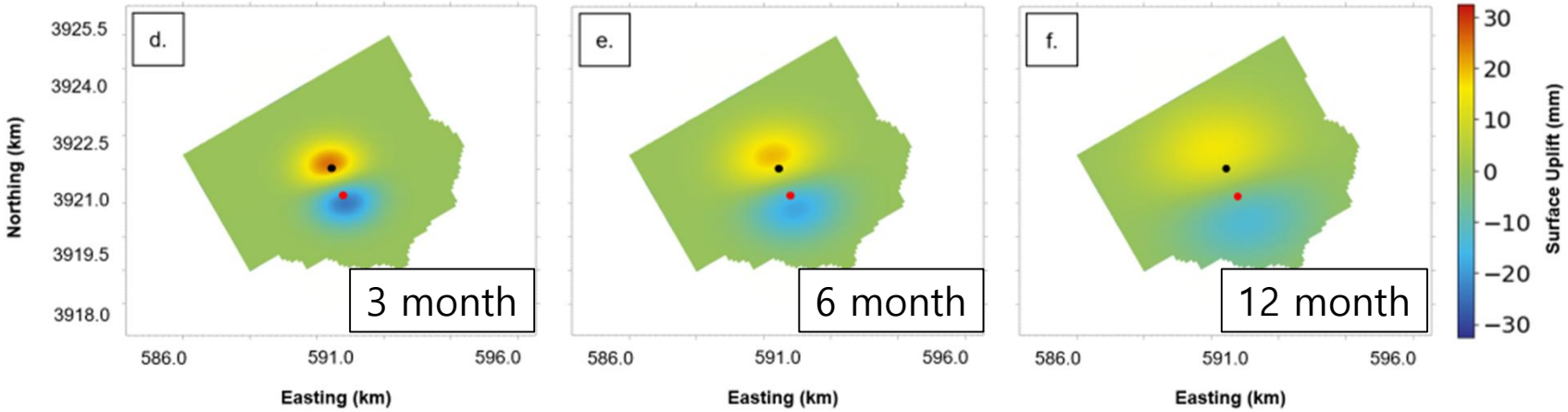


✓ 주입정 위치에서 최대 32.55 mm의 융기 예측.

✓ 주입정에서 멀어질수록 융기 크기 작아짐.

결과 - 동해가스전

- 감압정 포함 저류층 융기/침하 분석



생산/주입 기간 (월)	주입정 + 감압정	
	융기 (mm)	침하 (mm)
3	25.48	23.93
6	20.01	18.43
12	15.08	13.49

✓ 감압정 5 MPa 운영 시 융기: 7.07, 12.54, 17.47 mm 완화.

✓ 저류층 침하: 23.93, 18.43, 13.49 mm로 시간에 따라 완화.

✓ 감압정 운영은 융기/침하 완화에 효과적인 것으로 분석됨.

결론

- CO_2 주입은 저류층 공급압 상승을 야기하며, 이는 즉각적인 저류층 두께 변화로 이어짐. 지구역학적 물성을 고려한다면 CO_2 주입으로 인한 지표면 융기/침하의 정도를 파악 할 수 있음.
- GPT 기법을 통해 지표면 융기/침하의 정도와 공간적 퍼짐을 시간에 따라 계산하는 것이 가능함. 실제 CCS 계획에 선제적으로 주입 압력에 따른 저류층 융기/침하를 예측하여 지구역학적 안정성을 확보할 수 있음.
- 과도한 저류층 융기를 완화하기 위한 목적의 감압정 설치는 적절한 것으로 판단됨. 주입정/감압정 운영으로 인한 저류층 융기/침하의 정도는 시간에 따라 점차 완화될 것으로 예상됨.

Q & A