



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2008-0069635
(43) 공개일자 2008년07월28일

- | | |
|---|--|
| <p>(51) Int. Cl.
E21B 43/24 (2006.01) E21B 43/30 (2006.01)
E21B 36/00 (2006.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2008-7012458
(22) 출원일자 2008년05월23일
심사청구일자 없음
번역문제출일자 2008년05월23일</p> <p>(86) 국제출원번호 PCT/US2006/041183
국제출원일자 2006년10월20일</p> <p>(87) 국제공개번호 WO 2007/050476
국제공개일자 2007년05월03일</p> <p>(30) 우선권주장
60/729,763 2005년10월24일 미국(US)
60/794,298 2006년04월21일 미국(US)</p> | <p>(71) 출원인
헬 인터내셔널 리써취 마트사피지 비.브이.
네델란드왕국 엔엘-2596 에이치알 더 헤이그 카렐 반 바일란드틀란 30</p> <p>(72) 발명자
카라니카스 존 마이클
미국 77027 텍사스주 휴스턴 월드 인디고 스트리트 4655아파트먼트 302
리 루이지안
미국 77450 텍사스주 케이티 윌로우포드 파크 드라이브 21306</p> <p>(74) 대리인
특허법인코리아나</p> |
|---|--|

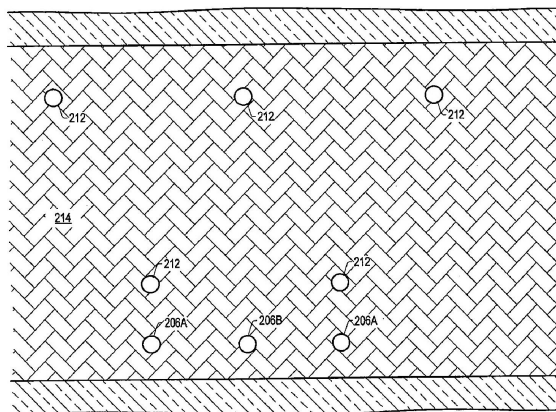
전체 청구항 수 : 총 24 항

(54) 열 발생 배출 경로를 갖는 타르 모래로부터 탄화수소를제조하기 위한 시스템 및 그 제조 방법

(57) 요약

타르 모래 지층의 처리 시스템이 개시되어 있다. 상기 시스템은 지층 내에 위치하는 복수개의 히터를 포함한다. 상기 히터는 탄화수소 층의 적어도 일부에서 적어도 일부가 수평인 가열 구역을 갖는다. 상기 가열 구역의 적어도 일부는 탄화수소 층 내의 패턴 내에 배열된다. 상기 히터는 탄화수소 층에 열을 공급하도록 구성된다. 상기 공급된 열은 가동화된 유체를 위한 복수개의 배출 경로를 만든다. 상기 배출 경로 중 두 개 이상이 수렴한다. 제조물은 탄화수소 층 내의 수렴하는 배출 경로로부터 가동화된 유체를 수집 및 제조하도록 위치한다.

대표도



특허청구의 범위

청구항 1

지층 내에 위치하는 복수개의 히터, 및

탄화수소 층 내의 수렴하는 배출 경로로부터 가동화된 유체를 수집 및 제조하도록 위치하는 제조웰을 포함하는 타르 모래 지층의 처리 시스템으로서,

상기 히터는 적어도 부분적으로 지층의 탄화수소 층에서 적어도 부분적으로 수평인 가열 구역을 포함하고, 이 가열 구역은 적어도 부분적으로 탄화수소 층에 패턴으로 배열되며, 상기 히터는 탄화수소 층에 열을 공급하도록 구성되고, 상기 공급된 열은 가동화된 유체를 위한 복수개의 배출 경로를 만들며, 상기 배출 경로 중 두 개 이상이 수렴하는, 타르 모래 지층의 처리 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 가동화된 유체중 적어도 일부가 제조웰 쪽으로 유동하도록 하는 경로를 만들기 위해, 상기 히터로부터의 열이 상기 제조웰에 대해 적어도 부분적으로 중첩되는, 타르 모래 지층의 처리 시스템.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 제조웰은 상기 지층 내의 유체의 적어도 일부가 제조웰 쪽으로 배출되도록 위치하는, 타르 모래 지층의 처리 시스템.

청구항 4

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제조웰은 상기 제조웰 및 이 제조웰을 둘러싸는 지층의 적어도 일부에 열을 공급하는 히터를 포함하는, 타르 모래 지층의 처리 시스템.

청구항 5

제 1 항 내지 제 4 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제조웰은 상기 지층으로부터 적어도 약간의 열분해 유체를 제조하도록 구성되는, 타르 모래 지층의 처리 시스템.

청구항 6

제 1 항 내지 제 5 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 시스템은 상기 지층으로부터 유체를 제거하기 위해 제조웰 내에 펌프를 더 포함하는, 타르 모래 지층의 처리 시스템.

청구항 7

제 1 항 내지 제 6 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 히터는 기다란 히터인, 타르 모래 지층의 처리 시스템.

청구항 8

제 1 항 내지 제 7 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 패턴은 가열 구역을 포함하며 그 패턴에서 상기 가열 구역 사이의 간격이 동일한, 타르 모래 지층의 처리 시스템.

청구항 9

제 1 항 내지 제 8 항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 패턴은 가열 구역의 삼각형 패턴인, 타르 모래 지층의 처리 시스템.

청구항 10

제 1 항 내지 제 9 항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 시스템은 상기 지층에 증기를 공급하도록 구성되는 증기 공급원을 추가로 포함하는, 타르 모래 지층의 처리 시스템.

청구항 11

제 1 항 내지 제 10 항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 가열 구역의 패턴은 상기 탄화수소 층의 바닥 쪽으로 배향된 정점을 포함하는, 타르 모래 지층의 처리 시스템.

청구항 12

제 11 항에 있어서,
상기 제조웰은 탄화수소 층의 바닥 쪽으로 배향된 정점의 근방 또는 아래에 위치하는, 타르 모래 지층의 처리 시스템.

청구항 13

제 1 항 내지 제 12 항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 제조웰은 하나 이상의 히터로부터의 열이 상기 제조웰 근방의 탄화수소 층의 적어도 일부를 가열하도록 위치하는, 타르 모래 지층의 처리 시스템.

청구항 14

제 1 항 내지 제 13 항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 제조웰은 최근방의 히터로부터 패턴 내 히터 사이 간격의 2/3 이하, 1/2 이하, 또는 1/3 이하의 거리에 위치하고, 그리고/또는 상기 제조웰은 최근방 히터로부터 2 m ~ 10 m, 최근방 히터로부터 4 m ~ 8 m, 또는 최근방 히터로부터 5 m ~ 7 m 에 위치하는, 타르 모래 지층의 처리 시스템.

청구항 15

지층 내에 위치한 복수개의 히터로부터 지층 내의 탄화수소 층의 적어도 일부에 열을 공급하는 단계;
가동화된 유체의 적어도 일부가 상기 지층으로부터 배출 경로 및/또는 상기 수렴하는 배출 경로를 따라 제조웰 쪽으로 유동하도록 하는 단계; 및
상기 가동화된 유체의 적어도 일부를 상기 제조웰을 통해 제조하는 단계를 포함하는, 제 1 항 내지 제 14 항 중 어느 한 항의 시스템을 사용한 타르 모래 지층의 처리 방법.

청구항 16

제 15 항에 있어서,
상기 제조웰은 상기 탄화수소 층의 바닥 쪽으로 배향된 정점의 아래에 위치하는, 타르 모래 지층의 처리 방법.

청구항 17

제 15 항 또는 제 16 항에 있어서,
상기 가동화된 유체의 적어도 일부가 상기 제조웰로 유동하게 하는 경로를 만들기 위해 상기 제조웰에 대해 상기 열이 적어도 부분적으로 중첩하도록, 상기 히터로부터 상기 탄화수소 층에 열을 공급하는 단계를 추가로 포

함하는, 타르 모래 지층의 처리 방법.

청구항 18

제 15 항 내지 제 17 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 탄화수소 층 내의 유체가 상기 배출 경로 및/또는 상기 수렴하는 배출 경로를 따라 상기 제조웰 쪽으로 배출되도록 하는 단계를 추가로 포함하는, 타르 모래 지층의 처리 방법.

청구항 19

제 15 항 내지 제 18 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제조웰 및 이 제조웰을 둘러싸는 지층의 적어도 일부에 열을 공급하기 위해, 상기 제조웰에서 열을 공급하는 단계를 추가로 포함하는, 타르 모래 지층의 처리 방법.

청구항 20

제 15 항 내지 제 19 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 지층으로부터 적어도 약간의 열분해된 유체를 제조하는 단계를 추가로 포함하는, 타르 모래 지층의 처리 방법.

청구항 21

제 15 항 내지 제 20 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 지층의 표면으로 유체를 펌핑하는 단계를 추가로 포함하는, 타르 모래 지층의 처리 방법.

청구항 22

제 15 항 내지 제 21 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 지층에 증기를 공급하는 단계를 추가로 포함하는, 타르 모래 지층의 처리 방법.

청구항 23

제 1 항 내지 제 14 항 중 어느 한 항에 기재된 시스템, 또는 제 15 항 내지 제 22 항 중 어느 한 항에 기재된 방법을 이용하여 제조된 탄화수소를 포함하는 조성물.

청구항 24

제 23 항에 기재된 조성으로부터 만들어진 수송 연료.

명세서

기술분야

<1> 본 발명은 일반적으로 탄화수소 함유 지층 (formation) 과 같은 다양한 지하 지층으로부터 탄화수소, 수소 및/또는 다른 생성물을 형성하는 방법 및 시스템에 관한 것이다.

배경기술

<2> 지하 지층으로부터 얻어진 탄화수소는 공급원료 등의 에너지 자원으로서 그리고 소비재로서 종종 사용된다. 이용가능한 탄화수소 자원의 고갈에 대한 걱정 그리고 형성되는 탄화수소의 전체 질의 감소에 대한 걱정으로 인해, 이용가능한 탄화수소 자원의 더욱 효과적인 회수, 처리 및/또는 사용을 위한 처리가 개발되고 있다. 지하 지층으로부터 탄화수소 재료를 제거하기 위해 현장 처리가 이용될 수 있다. 지하 지층 속의 탄화수소 재료의 화학적 및/또는 물리적 특성은 지하 지층으로부터 탄화수소 재료를 더욱 용이하게 제거할 수 있도록 변화될 필요가 있을 수 있다. 화학적 및 물리적 변화는 제거가능한 유체를 형성하는 현장 반응, 지층 속의 탄화수소 재료의 조성 변화, 용해도 변화, 밀도 변화, 상 변화 및/또는 점도 변화를 포함할 수 있다. 유체는 가스, 액체, 에멀전, 슬러리 및/또는 액체 유동과 유사한 유동 특성을 갖는 고체 입자의 스트림일 수 있고, 이

에 국한되지 않는다.

- <3> 비교적 투과성인 지층 (예컨대 타르 모래) 내에 함유된 중질 탄화수소 (중질유 및/또는 타르) 의 큰 퇴적물이 북아메리카, 남아메리카, 아프리카 및 아시아에서 발견된다. 타르는 표면 채굴되어, 원유, 나프타 (naphta), 등유 및/또는 경유와 같은 경질 탄화수소로 개량될 수 있다. 표면 채굴 처리는 또한 모래로부터 역청 (bitumen) 을 분리할 수도 있다. 분리된 역청은 종래의 정제 방법을 사용하여 경질 탄화수소로 변환될 수 있다. 타르 모래의 채굴 및 개량은 보통 종래의 오일 저장소로부터 경질 탄화수소를 제조하는 것보다 실질적으로 비용이 많이 든다.
- <4> 타르 모래로부터 탄화수소의 현장 제조는 가열 및/또는 지층 내의 가스 주입에 의해 달성될 수 있다. Ostapovich 등의 미국 특허 제 5,211,230 호 및 Leaute 의 5,339,897 호는 오일 저장소 내에 위치한 수평 제조 웰을 개시하고 있다. 현장 연소를 위해 저장소 내에 산화제 가스를 주입하기 위해 수직 도관이 사용될 수도 있다.
- <5> Ljungstrom 의 미국 특허 제 2,780,450 호는 역청 지질층의 현장에서 가열하여 액체 타르 형태의 물질을 오일 및 가스로 변환 또는 분해하는 것을 개시하고 있다.
- <6> Ware 등의 미국 특허 제 4,597,441 호는 오일, 열, 수소를 저장소 내에서 동시에 접촉시키는 것을 개시하고 있다. 수소화는 저장소로부터의 오일 회수를 향상시킨다.
- <7> Glandt 등의 미국 특허 제 5,046,559 호 및 Glandt 등의 미국 특허 제 5,060,726 호는 주입 웰과 제조웰 사이의 타르 모래 지층의 일부를 예열하는 것을 개시하고 있다. 제조웰에서 탄화수소를 제조하기 위해 지층 내에는 주입 웰로부터 증기가 주입될 수 있다.
- <8> 상기에 개설한 바와 같이, 탄화수소 함유 지층으로부터 탄화수소, 수소 및/또는 다른 생성물을 경제적으로 제조하기 위한 방법 및 시스템을 개발하기 위해 상당한 노력이 있어 왔다. 그러나 현재, 탄화수소, 수소 및/또는 다른 생성물을 경제적으로 제조할 수 없는 탄화수소 함유 지층이 여전히 많다. 따라서, 다양한 탄화수소 함유 지층으로부터 탄화수소, 수소 및/또는 다른 생성물을 제조하기 위한 개선된 시스템 및 제조 방법에 대한 필요성이 여전히 존재한다.

발명의 상세한 설명

- <9> 여기서 설명하는 실시형태는 일반적으로 지하 지층을 가열하기 위한 시스템, 방법 및 히터에 관한 것이다. 또한, 여기서 설명하는 실시형태는 신규한 구성요소를 포함하는 히터에 관한 것이다. 여기서 설명하는 시스템 및 방법을 이용함으로써 그러한 히터를 얻을 수 있다.
- <10> 특정 실시형태에서, 본 발명은 1 이상의 시스템, 방법 및/또는 히터를 제공한다. 몇몇의 실시형태에서, 상기 시스템, 방법 및/또는 히터는 지하 지층을 처리하기 위해 사용된다.
- <11> 특정 실시형태에서 본 발명은, 지층 내에 위치하는 복수개의 히터, 및 탄화수소 층 내의 수렴하는 배출 경로로부터 가동화된 유체를 수집 및 제조하도록 위치하는 제조웰을 포함하는 타르 모래 지층의 처리 시스템으로서, 상기 히터는 적어도 부분적으로 지층의 탄화수소 층에서 적어도 부분적으로 수평인 가열 구역을 포함하고, 이 가열 구역은 적어도 부분적으로 탄화수소 층 내에 패턴으로 배열되며, 상기 히터는 탄화수소 층에 열을 공급하도록 구성되고, 상기 공급된 열은 가동화된 유체를 위한 복수개의 배출 경로를 만들며, 상기 배출 경로 중 두 개 이상이 수렴하는 타르 모래 지층의 처리 시스템을 제공한다.
- <12> 몇몇의 실시형태에서 본 발명은, 지층 내에 위치한 복수개의 히터로부터 지층 내의 탄화수소 층의 적어도 일부에 열을 공급하는 단계; 가동화된 유체의 적어도 일부가 상기 지층으로부터 배출 경로 및/또는 수렴하는 배출 경로를 따라 제조웰 쪽으로 유동하도록 하는 단계; 및 상기 가동화된 유체의 적어도 일부를 상기 제조웰을 통해 제조하는 단계를 포함하는 타르 모래 지층의 처리 방법을 제공한다.
- <13> 다른 실시형태에서, 특정 실시형태의 특징은 다른 실시형태의 특징과 조합될 수 있다. 예컨대, 한 실시형태의 특징은 임의의 다른 실시형태의 특징과 조합될 수 있다.
- <14> 다른 실시형태에서, 지하 지층의 처리는 여기서 설명하는 방법, 시스템 또는 히터를 이용하여 행해진다.
- <15> 다른 실시형태에서, 부가적인 특징이 여기서 설명하는 특정 실시형태에 부가될 수 있다.
- <16> 본 발명의 이점은 이하의 상세한 설명과 첨부 도면을 참조하면 본 기술분야의 당업자에게 명백해질 것이다.

실시예

- <30> 본 발명은 다양한 수정과 다른 형태가 가능하지만, 본 발명의 특정 실시형태를 예로써 도면에 나타내고 여기서 상세히 설명한다. 도면은 일정한 축척이 아닐 수 있다. 도면과 상세한 설명은 본 발명을 개시된 특정 형태로 제한하려는 것이 아니고, 오히려 첨부된 청구범위에 기재된 본 발명의 보호범위에 속하는 모든 수정, 균등물 및 변형을 포함하려는 것임을 이해해야 한다.
- <31> 이하의 설명은 일반적으로 지층 내 탄화수소를 처리하기 위한 시스템 및 방법에 관한 것이다. 그러한 지층을 처리하여, 탄화수소 생성물, 수소 및 다른 생성물을 얻을 수 있다.
- <32> "탄화수소"는 일반적으로 주로 탄소와 수소 원자로 형성된 분자로 정의된다. 탄화수소는 할로젠, 금속원소, 질소, 산소 및/또는 황과 같은 다른 원소를 또한 포함할 수 있으며, 이에 국한되지 않는다. 탄화수소는 케로젠, 역청, 피로역청, 오일, 천연 광택 및 아스팔타이트일 수 있으며, 이에 국한되지 않는다. 탄화수소는 땅 속 광물 매트릭스 내에 또는 인접하게 위치될 수 있다. 매트릭스는 퇴적암, 모래, 실리실라이트 (silicilyte), 탄산염, 규조토 및 다른 다공성 매체를 포함할 수 있으며, 이에 국한되지 않는다. "탄화수소 유체"는 탄화수소를 포함하는 유체이다. 탄화수소 유체는 수소, 질소, 일산화탄소, 이산화탄소, 황화수소, 물 및 암모니아와 같은 비탄화수소 (non-hydrocarbon) 유체를 포함 또는 동반하거나 비탄화수소 유체에 동반될 수 있다.
- <33> "지층"은 1 이상의 탄화수소 함유 층, 1 이상의 비탄화수소 층, 상부 퇴적물 (overburden) 및/또는 하부 퇴적물 (underburden) 을 포함한다. "상부 퇴적물" 및/또는 "하부 퇴적물"은 1 이상의 상이한 종류의 불투과성 재료를 포함한다. 예컨대, 상부 퇴적물 및/또는 하부 퇴적물은 암석, 셰일, 이암, 또는 습식/기밀 탄산염을 포함할 수 있다. 현장 열처리 과정의 일부 실시형태에서, 상부 퇴적물 및/또는 하부 퇴적물은, 상대적으로 불투과성이며 또 현장 열처리 동안 상부 퇴적물 및/또는 하부 퇴적물의 탄화수소 함유 층의 중요한 특성 변화를 발생시키는 온도를 거치지 않는 탄화수소 함유 층(들)을 포함할 수 있다. 예컨대, 하부 퇴적물은 셰일 또는 이암을 포함할 수 있지만, 하부 퇴적물은 열현장 열처리 과정 동안 열분해 온도까지 가열되는 것은 허용되지 않는다. 몇몇의 경우에, 상부 퇴적물 및/또는 하부 퇴적물은 약간 투과성일 수 있다.
- <34> "지층 유체"는 지층 내 유체를 가리키며, 열분해 유체, 합성가스, 가동화된 탄화수소 및 물 (증기) 을 포함할 수 있다. 지층 유체는 비탄화수소 유체뿐만 아니라 탄화수소 유체를 포함할 수 있다. 용어 "가동화 유체"는 지층의 열처리 결과 유동할 수 있는 탄화수소 함유 지층 내 유체를 가리킨다. "비스브로큰 유체 (Visbroken fluid)" 는 상기 지층의 열 처리 결과 점도가 감소된 유체를 가리킨다.
- <35> "형성된 유체"는 지층으로부터 제거된 지층 유체를 가리킨다.
- <36> "열원"은 실질적으로 전도 및/또는 복사 열전달에 의해 지층의 적어도 일부에 열을 제공하는 임의의 시스템이다. 예컨대, 열원은 절연된 도체, 기다란 부재 및/또는 도관 내에 배치된 도체와 같은 전기 히터를 포함할 수 있다. 열원은 지층 외부 또는 내부에서 연료를 연소시킴으로써 열을 발생시키는 시스템을 또한 포함할 수 있다. 이 시스템은 표면 버너, 다운홀 가스 버너, 무염 (flameless) 분배 연소기 및 천연 분배 연소기일 수 있다. 몇몇의 실시형태에서, 1 이상의 열원에 제공되거나 열원에서 발생하는 열은 다른 에너지원에 의해 공급될 수 있다. 다른 에너지원은 지층을 직접 가열하거나, 또는 지층을 직접 또는 간접적으로 가열하는 전달 매체에 에너지가 가해질 수 있다. 지층에 열을 가하는 1 이상의 열원은 상이한 에너지원을 이용할 수 있다. 따라서, 예컨대, 주어진 지층의 경우, 일부 열원은 전기 저항 히터로부터 열을 공급하고, 일부 열원은 연소로부터 열을 공급하며, 또 일부 열원은 1 이상의 다른 에너지원 (예컨대, 화학 반응, 태양에너지, 풍력, 바이오매스 (biomass), 또는 재생가능한 다른 에너지원) 으로부터 열을 공급할 수 있다. 화학 반응은 발열 반응 (예컨대, 산화 반응) 을 포함할 수 있다. 열원은 히터 웰 (heater well) 과 같은 가열 위치에 가까운 구역 및/또는 가열 위치를 둘러싸는 구역에 열을 제공하는 히터를 또한 포함할 수 있다.
- <37> "히터"는 웰 (well) 내에 또는 웰보어 구역 근방에 열을 발생시키는 임의의 시스템 또는 열원이다. 히터는 지층 내 재료 또는 지층에서 형성된 재료와 반응할 수 있는 전기 히터, 버너, 연소기 및/또는 이들의 조합일 수 있으며, 이에 국한되지 않는다.
- <38> "현장 열처리 과정"은, 지층 내에 가동화 유체, 비스브레이킹 (visbreaking) 된 유체, 또는 열분해 유체가 형성 되도록, 열원으로 탄화수소 함유 지층을 가열하여 지층 중 적어도 일부의 온도를 가동화, 또는 비스브레이킹, 또는 열분해 온도 이상으로 높이는 과정을 가리킨다.

- <39> "온도 제한 히터"는 일반적으로 온도 제어기, 전력 조절기, 정류기, 또는 다른 장치와 같은 외부 제어의 사용 없이 특정 온도 이상에서 열 출력을 제한하는 (예컨대, 열 출력을 감소시키는) 히터를 가리킨다. 온도 제한 히터는 AC (교류) 또는 변조된 (예컨대, "절단된 (chopped)") DC (직류) 전력 전기 저항 히터일 수 있다.
- <40> 용어 "웰보어"는 드릴링 또는 지층에의 도관 삽입에 의해 형성된 지층 내 구멍을 가리킨다. 웰보어는 실질적으로 원형의 단면 또는 다른 단면 형상을 가질 수 있다. 여기서 사용되는 용어 "웰"과 "개구"는 지층 내 개구를 나타내는 경우 용어 "웰보어"와 서로 교환가능하게 사용될 수 있다.
- <41> "u자형 웰보어"는 지층 내 제 1 개구로부터 적어도 지층의 일부를 통해 그리고 지층 내 제 2 개구까지 연장된 웰보어를 가리킨다. 본 명세서에서, 웰보어는 단지 개략적으로 "v" 또는 "u"자 형상일 수 있으며, "u자형"으로 간주되는 웰보어의 경우, "u"의 "다리부 (leg)"가 서로 평행하거나 "u"의 "저부 (bottom)"에 수직일 필요는 없다.
- <42> "비스브레이킹 (Visbreaking)"은 열 처리 동안 유체 내의 분자의 엉킴이 풀리고, 그리고/또는 열 처리 동안 큰 분자들이 보다 작은 분자로 파괴되어, 유체의 점도 감소가 일어나는 것을 나타낸다.
- <43> "열분해"는 열 공급으로 인한 화학 결합의 파괴이다. 예컨대, 열분해는 단지 열만으로써 화합물을 1 이상의 다른 물질로 변환시키는 것을 포함할 수 있다. 열은 지층의 구획에 전달되어 열분해를 야기할 수 있다.
- <44> "열분해 유체" 또는 "열분해 생성물"은 실질적으로 탄화수소의 열분해 동안 형성된 유체를 가리킨다. 열분해 반응에 의해 형성된 유체는 지층 내 다른 유체와 혼합될 수 있다. 이 혼합물은 열분해 유체 또는 열분해 생성물로 간주된다. 여기서 사용되는 "열분해 구역"은 반응되거나 반응하여 열분해 유체를 형성하는 지층의 체적 (예컨대, 역청 지층과 같은 비교적 투과성인 지층) 을 가리킨다.
- <45> "크래킹 (Cracking)"은 처음에 존재했던 것보다 더 많은 수의 분자를 제조하기 위해 유기 화합물을 분해 및 분자 재결합하는 것을 포함한다. 크래킹에서는, 일련의 반응이 일어날 때, 분자간 수소 전달이 수반된다. 예를 들면, 나프타는 열 크래킹 반응으로 에탄 및 H₂ 를 형성한다.
- <46> "열 중첩" 은 적어도 열원 사이의 지점에서의 지층 온도가 열원에 의해 영향을 받도록, 둘 이상의 열원으로부터 지층의 선택된 영역에 열을 가하는 것을 말한다.
- <47> "유압"은 지층 내에서 유체에 의해 발생한 압력이다. "지반압력" ("지반응력"으로도 칭함) 은 상부 암석체량의 단위 면적당 무게와 동일한 지층 내의 압력이다. "정수압"은 물기둥에 의해 가해지는 지층 내의 압력이다.
- <48> "API 중량" 은 15.5°C (60°F) 에서의 API 중량을 나타낸다. API 중량은 ASTM 법 D6822 에 의해 정해진 바와 같다.
- <49> 층의 "두께"는 층 단면의 두께를 나타내며, 이 단면은 층 면에 수직이다.
- <50> "중질 탄화수소"는 점도 탄화수소 유체이다. 중질 탄화수소는 중질유, 타르 및/또는 아스팔트와 같은 높은 점도의 탄화수소 유체를 포함할 수 있다. 중질 탄화수소는 탄소 및 수소 뿐만 아니라 보다 작은 농도의 황, 산소 및 질소를 포함할 수 있다. 중질 탄화수소에는 추가 원소들이 미량 존재할 수도 있다. 중질 탄화수소는 API 중량에 의해 분류될 수 있다. 중질 탄화수소는 일반적으로 약 20° 미만의 API 중량을 갖는다. 예컨대 중질유는 일반적으로 약 10~20° 미만의 API 중량을 갖는 반면, 타르는 일반적으로 약 10° 미만의 API 중량을 갖는다. 중질 탄화수소의 점도는 일반적으로 15°C 에서 약 100 센티푸아즈를 초과한다. 중질 탄화수소는 방향족 또는 다른 복합 고리 탄화수소를 포함할 수 있다.
- <51> 중질 탄화수소는 상대적으로 투과성인 지층 내에서 발견될 수 있다. 상대적으로 투과성인 지층은 예컨대 모래 또는 탄산염 내에 동반된 중질 탄화수소를 포함할 수 있다. "상대적으로 투과성"이란 지층 또는 그 일부에 대해, 10 millidarcy 이상의 평균 투과도로서 정의된다 (예컨대 10 또는 100 millidarcy). "상대적으로 저투과성"이란, 지층 또는 그 일부에 대해, 약 10 millidarcy 미만의 평균 투과도로서 정의된다. 1 darcy 는 약 0.99 평방 마이크로미터와 같다. 불투과성 층은 일반적으로 약 0.1 millidarcy 미만의 투과도를 갖는다.
- <52> "타르"는 일반적으로 15°C에서 약 10,000 센티푸아즈를 초과하는 점도를 갖는 점도 탄화수소이다. 타르의 비중은 일반적으로 1.000 초과이다. 타르는 10° 미만의 API 중량을 가질 수 있다.

- <53> "타르 모래 지층"은 탄화수소가 주로 중질 탄화수소 및/또는 광물 입자 구조 내에 동반된 타르 또는 다른 모암 석(예컨대 모래 또는 탄산염)의 형태로 존재하는 지층이다. 타르 모래 지층의 예로서, 캐나다 앨버타에 있는 아타바스카(Athabasca) 타르 모래 지층, 그로스몬트(Grosmont) 지층, 및 피스리버(Peace River) 지층 세 곳과, 베네수엘라의 오리노코 지대의 파자(Faja) 지층과 같은 지층을 포함한다.
- <54> 몇몇의 경우에, 상대적으로 투과성인 지층의 탄화수소 부분의 일부 또는 전부는, 주로 중질 탄화수소 및/또는 지지 광물 입자 구조를 갖지 않고 부유 광물질(예컨대 아스팔트 레이크)만을 갖는(또는 광물질을 전혀 갖지 않는) 타르일 수 있다.
- <55> 중질 탄화수소를 포함하는 어떤 종류의 지층은 또한, 천연 광물 왁스 또는 천연 아스팔트광일 수도 있으며, 이에 한정되는 것은 아니다. "천연 광물 왁스"는 수미터의 폭, 수킬로미터의 길이, 및 수백미터의 깊이를 갖는 실질적으로 관형인 광맥 내에서 전형적으로 발생한다. "천연 아스팔트광"은 방향족 조성의 고체 탄화수소를 포함하고 통상적으로 대형 광맥 내에서 발생한다. 천연 광물 왁스 및 천연 아스팔트광과 같은 지층으로부터 탄화수소를 현장 회수하는 것은 액체 탄화수소 형성을 위한 용융 및/또는 지층으로부터 탄화수소의 용액 채굴을 포함할 수 있다.
- <56> "개량"은 탄화수소의 품질을 개선하는 것을 말한다. 예를 들면, 중질 탄화수소의 개량은 중질 탄화수소의 API 중량의 증가를 가져온다.
- <57> 지층 내 탄화수소는 많은 상이한 생성물을 형성하기 위해 다양한 방식으로 처리될 수 있다. 특정 실시형태에서, 지층 내 탄화수소는 여러 단계로 처리된다. 도 1은 탄화수소 함유 지층을 가열하는 여러 단계의 실례를 보여준다. 또한, 도 1은 가열된 지층의 온도("T", 단위: °C, x축)에 대해 지층의 지층 유체 1 톤당 오일 상당물의 수득량("Y", 단위: 배럴, y축)을 보여준다.
- <58> 메탄의 탈착과 물의 증발이 제 1 단계 가열 동안 이루어진다. 지층의 제 1 단계 가열은 가능한 한 빨리 행해질 수 있다. 예컨대, 탄화수소 함유 지층이 처음 가열될 때, 지층 내 탄화수소는 흡착된 메탄을 탈착시킨다. 탈착된 메탄이 지층으로부터 형성될 수 있다. 탄화수소 함유 지층이 더 가열되면, 탄화수소 함유 지층 내 물이 증발된다. 몇몇의 탄화수소 함유 지층에서, 물은 지층 내 공극 체적의 10 ~ 50%를 차지할 수 있다. 다른 지층의 경우, 물은 공극 체적의 더 많은 또는 더 적은 부분을 차지한다. 물은 일반적으로 600 kPa ~ 7000 kPa의 절대압력에서 160 °C ~ 285 °C의 지층에서 증발된다. 몇몇의 실시형태에서, 증발된 물은 지층의 젖음성 변화 및/또는 증가된 지층 압력을 발생시킨다. 젖음성 변화 및/또는 증가된 압력은 지층 내 열분해 반응 또는 다른 반응에 영향을 미칠 수 있다. 특정 실시형태에서, 증발된 물은 지층으로부터 형성된다. 다른 실시형태에서, 증발된 물은 지층 내에서 또는 지층 외부에서 스팀 추출 및/또는 증류에 사용된다. 지층에서 물을 제거하고 지층 내 공극 체적을 증가시키는 것은 공극 체적 내 탄화수소용 저장 공간을 증가시킨다.
- <59> 특정 실시형태에서, 제 1 단계 가열 후, 지층 내 온도가(적어도) 초기 열분해 온도(제 2 단계의 온도 범위에서의 하단측 온도 등)에 도달하도록 지층은 더 가열된다. 지층 내 탄화수소는 제 2 단계 내내 열분해될 수 있다. 열분해 온도 범위는 지층 내 탄화수소의 종류에 따라 변한다. 열분해 온도 범위는 250 °C ~ 900 °C의 온도를 포함할 수 있다. 원하는 생성물을 형성하기 위한 열분해 온도 범위는 전체 열분해 온도 범위의 단지 일부일 수 있다. 몇몇의 실시형태에서, 원하는 생성물을 형성하기 위한 열분해 온도 범위는 250 °C ~ 400 °C의 온도 또는 270 °C ~ 350 °C의 온도를 포함할 수 있다. 지층 내 탄화수소의 온도가 250 °C ~ 400 °C의 온도 범위에서 느리게 올려진다면, 열분해 생성물의 형성은 실질적으로 온도가 400 °C에 도달하는 때에 완료될 수 있다. 탄화수소의 평균 온도는 원하는 생성물을 형성하기 위한 열분해 온도 범위에서 하루에 5 °C 미만, 하루에 2 °C 미만, 하루에 1 °C 미만, 또는 하루에 0.5 °C 미만의 속도로 올려질 수 있다. 탄화수소 함유 지층을 복수의 열원으로 가열하면, 열분해 온도 범위에서 지층 내 탄화수소의 온도를 느리게 올리는 열원 주위의 열적 구배가 발생할 수 있다.
- <60> 원하는 생성물을 위한 열분해 온도 범위에서의 온도 증가 속도는 탄화수소 함유 지층으로부터 생성된 지층 유체의 질과 양에 영향을 미칠 수 있다. 원하는 생성물을 위한 열분해 온도 범위에서 느리게 온도를 올리는 것은, 지층 내 큰 사슬 분자(chain molecule)의 가동화를 억제할 수 있다. 원하는 생성물을 위한 열분해 온도 범위에서 느리게 온도를 올리는 것은, 원하지 않는 생성물을 생산하는 가동화된 탄화수소들 사이의 반응을 제한할 수 있다. 원하는 생성물을 위한 열분해 온도 범위에서 지층의 온도를 느리게 올리면, 지층으로부터 높은 품질, 높은 API 중량 탄화수소를 제조할 수 있다. 원하는 생성물을 위한 열분해 온도 범위에서 지층의

온도를 느리게 올리면, 탄화수소 생성물으로서 지층 내에 존재하는 많은 양의 탄화수소를 제거할 수 있다.

- <61> 몇몇의 현장 열처리 실시형태에서, 온도 범위에서 지층을 느리게 가열하는 대신, 지층의 일부가 원하는 온도까지 가열된다. 몇몇의 실시형태에서, 원하는 온도는 300 °C, 325 °C, 또는 350 °C 이다. 원하는 온도로 다른 온도가 선택될 수 있다. 열원으로부터의 열을 중첩시키면, 지층 내에서 원하는 온도를 비교적 빠르고 효율적으로 얻을 수 있다. 열원으로부터 지층으로의 에너지 입력은 지층 내 온도를 실질적으로 원하는 온도로 유지하기 위해 조절될 수 있다. 지층의 가열된 부분은, 열분해가 쇠퇴하여 지층으로부터 원하는 지층 유체의 제조가 비경제적이 될 때까지 실질적으로 원하는 온도로 유지된다. 열분해되는 지층의 부분은 단 하나의 열원으로부터의 열전달에 의해 열분해 온도로 되는 영역을 포함할 수 있다.
- <62> 특정 실시형태에서, 열분해 유체를 포함하는 지층 유체가 지층으로부터 생성된다. 지층의 온도가 증가함에 따라, 생성된 지층 유체의 응축 가능한 탄화수소의 양은 감소할 수 있다. 고온에서, 지층은 대개 메탄 및/또는 수소를 생성할 수 있다. 탄화수소 함유 지층이 전체 열분해 범위를 통해 가열되면, 지층은 열분해 범위의 상한을 향해 단지 소량의 수소를 생성할 수 있다. 이용가능한 수소 전부가 고갈된 후에는, 지층으로부터 최소량의 유체 생성이 일반적으로 발생할 것이다.
- <63> 탄화수소의 열분해 후, 다량의 탄소와 약간의 수소가 지층 내에 여전히 존재할 수 있다. 지층 내 남아 있는 탄소의 많은 부분은 합성가스의 형태로 지층으로부터 생성될 수 있다. 합성가스 생성은 도 1 에 나타난 제 3 단계 가열 동안 이루어질 수 있다. 제 3 단계는 합성가스가 생성되기에 충분한 온도까지 탄화수소 함유 지층을 가열하는 것을 포함할 수 있다. 예컨대, 합성가스는 약 400 °C ~ 약 1200 °C, 약 500 °C ~ 약 1100 °C, 또는 약 550 °C ~ 약 1000 °C 의 온도 범위에서 생성될 수 있다. 합성가스 생성 유체가 지층에 도입되는 때의 지층의 가열된 부분의 온도에 의해, 지층에서 생성되는 합성가스의 조성이 결정된다. 생성된 합성가스는 제조웰(들)을 통해 지층으로부터 제거될 수 있다.
- <64> 탄화수소 함유 지층으로부터 형성된 유체의 총 에너지 함량은 열분해와 합성가스 생성에 걸쳐 비교적 일정하게 유지될 수 있다. 비교적 낮은 지층 온도에서의 열분해 동안, 형성된 유체의 많은 부분은 높은 에너지 함량을 갖는 응축성 (condensable) 탄화수소일 수 있다. 그러나, 더 높은 열분해 온도에서는, 더 적은 지층 유체가 응축성 탄화수소를 포함할 수 있다. 더욱 비응축성인 지층 유체가 지층으로부터 생성될 수 있다. 형성된 유체의 단위 체적당 에너지 함량은 주로 비응축성 지층 유체의 생성 동안 약간 감소할 수 있다. 합성가스 생성 동안, 생성된 합성가스의 단위 체적당 에너지 함량은 열분해 유체의 에너지 함량에 비해 크게 감소한다. 그러나 생성된 합성가스의 체적은 많은 경우 실질적으로 증가하고, 이로써 감소된 에너지 함량을 보상한다.
- <65> 도 2 는 탄화수소 함유 지층을 처리하기 위한 현장 열처리 시스템의 일부의 실시형태의 개략도를 보여준다. 현장 열처리 시스템은 장벽 (barrier) 웰 (200) 을 포함할 수 있다. 장벽 웰은 처리 영역 주위에 장벽을 형성하기 위해 사용된다. 장벽은 처리 영역 내외로의 유체 유동을 금지한다. 장벽 웰은 탈수 웰, 진공 웰, 캡처 (capture) 웰, 주입 웰, 그라우트 (grout) 웰, 프리즈 (freeze) 웰, 또는 이들의 조합을 포함하지만, 이에 국한되지 않는다. 몇몇의 실시형태에서, 장벽 웰 (200) 은 탈수 웰이다. 탈수 웰은 액체 물을 제거하고/하거나 액체 물이 가열되는 지층의 부분에 또는 가열되는 지층에 들어가는 것을 막을 수 있다. 도 2 에 나타난 실시형태에서, 장벽 웰 (200) 은 단지 열원 (202) 의 한 측을 따라서만 연장되어 있고, 장벽 웰은 일반적으로 지층의 처리 영역을 가열하기 위해 사용되는 또는 사용될 열원 (202) 을 둘러싸지 않는다.
- <66> 열원 (202) 은 지층의 적어도 일부에 위치된다. 열원 (202) 은 절연된 도체, 도관 내 도체 히터, 표면 버너, 무염 분배 연소기, 및/또는 천연 분배 연소기와 같은 히터를 포함할 수 있다. 또한, 열원 (202) 은 다른 종류의 히터를 포함할 수 있다. 열원 (202) 은 지층 내 탄화수소를 가열하기 위해 지층의 적어도 일부에 열을 제공한다. 에너지가 공급 라인 (204) 을 통해 열원 (202) 에 공급될 수 있다. 공급 라인 (204) 의 구조는 지층을 가열하는데 사용되는 열원(들)의 종류에 따라 다를 수 있다. 열원을 위한 공급 라인 (204) 은 전기 히터를 위한 전기를 전달하거나, 연소기를 위한 연료를 운반하거나, 또는 지층에서 순환되는 열 교환 유체를 운반할 수 있다.
- <67> 제조웰 (206) 은 지층으로부터 지층 유체를 제거하기 위해 사용된다. 몇몇의 실시형태에서, 제조웰 (206) 은 열원을 포함한다. 제조웰의 열원은 제조웰에서 또는 제조웰 근방에서 지층의 1 이상의 부분을 가열할 수 있다. 몇몇의 현장 열처리 과정 실시형태에서, 제조웰 1 미터당 제조웰로부터 지층에 공급되는 열량은 열원의 1 미터당 지층을 가열하는 열원으로부터 지층에 공급되는 열량보다 작다.

- <68> 몇몇의 실시형태에서, 제조웰 (206) 내의 열원은 지층으로부터 지층 유체가 증기상으로 제거될 수 있게 해준다. 제조웰에서 또는 제조웰을 통하여 열을 공급하는 것은, (1) 제조 유체가 상부 퇴적물 (overburden) 근방의 제조웰 내에서 움직이는 경우 제조 유체의 응축 및/또는 환류를 억제하고, (2) 지층 내로의 열 입력을 증가시키며, (3) 열원이 없는 제조웰과 비교하여 제조웰로부터의 제조 속도를 증가시키고, (4) 제조웰 내의 높은 탄소 수 화합물 (C₆ 이상) 의 응축을 억제하며, 그리고/또는 (5) 제조웰에서 또는 그 근방에서 지층 투과성을 증가시킨다.
- <69> 지층 내의 하위 표면 압력은 지층 내에서 생성된 유압에 대응될 수 있다. 지층의 가열된 부분 내의 온도가 증가할수록, 가열된 부분 내의 압력은 증가된 유체 생성 및 물의 증발의 결과로 가능케 한다. 지층으로부터의 유체 제거 속도의 제어는 지층 내의 압력 제어를 대비하게 한다. 지층 내의 압력은, 제조웰 또는 그 근처, 열원 또는 그 근처, 또는 모니터 웰에서와 같은 많은 다른 지점에서 결정될 수 있다.
- <70> 몇몇 탄화수소 함유 지층에서, 지층 내의 적어도 몇몇 탄화수소가 열분해될 때까지 지층으로부터의 탄화수소 제조는 억제된다. 지층 유체는 지층 유체가 선택된 품질인 경우 지층으로부터 제조될 수 있다. 몇몇 실시형태에서 선택된 품질은 적어도 약 20°, 30°, 또는 40° 의 API 중량을 포함한다. 적어도 몇몇 탄화수소가 열분해 될 때까지 제조를 억제하면 중질 탄화수소의 경질 탄화수소로의 전환이 증가될 수 있다. 최초의 제조를 억제하면 지층으로부터 중질 탄화수소의 제조를 최소화할 수 있다. 상당한 양의 중질 탄화수소의 제조는 고가의 장비를 요할 수 있고 그리고/또는 제조 장비의 수명을 감소시킬 수 있다.
- <71> 열분해 온도에 도달하고 지층으로부터의 제조가 허용되면, 제조된 지층 유체의 조성을 변경 및/또는 제어하고, 지층 유체 내의 비응축성 유체에 대한 응축성 유체의 퍼센트를 제어하며, 그리고/또는 제조되는 지층 유체의 API 중량을 제어하도록, 지층 내의 압력을 변화시킬 수 있다. 예컨대, 압력의 감소는 더 많은 응축성 유체 성분의 제조로 이어질 수 있다. 응축성 유체 성분은 더 많은 올레핀을 함유할 수 있다.
- <72> 몇몇 현장 처리 공정 실시형태에서, 지층 내의 압력은 20° 를 초과하는 API 중량을 갖는 지층 유체의 제조를 촉진하기에 충분하도록 높게 유지된다. 지층 내의 증가된 압력의 유지는 현장 열 처리 동안 지층의 침강을 억제할 수 있다. 증가된 압력의 유지는 지층으로부터 유체의 증기 상 제조를 촉진할 수 있다. 증기 상 제조는 지층으로부터 제조되는 유체를 운반하기 위해 사용되는 수집 도관의 크기 감소를 가능케 한다. 증가된 압력의 유지는, 수집 도관 내의 유체를 처리시설로 운반하기 위해 표면에서 지층 유체를 압축할 필요성을 감소 또는 제거할 수 있다.
- <73> 지층의 가열된 부분 내의 증가된 압력의 유지로 인해 놀랍게도 더 나은 품질 및 상대적으로 작은 분자량을 갖는 탄화수소를 대량 제조하게 된다. 압력은 제조된 지층 유체가 선택된 탄소 수 이상의 화합물을 최소의 양만큼 갖도록 유지될 수 있다. 선택된 탄소 수는 25 이하, 20 이하, 12 이하 또는 8 이하일 수 있다. 몇몇의 높은 탄소 수 화합물은 지층 내의 증기 내에 동반될 수 있으며 증기와 함께 지층으로부터 제거될 수 있다. 지층 내의 증가된 압력을 유지하는 것은 높은 탄소 수 화합물 및/또는 다중 고리 탄화수소 화합물이 증기에 동반되는 것을 억제할 수 있다. 높은 탄소 수 화합물 및/또는 다중 고리 탄화수소 화합물은 상당한 기간 동안 지층 내에 액체 상으로 내에 남아있을 수 있다. 이러한 상당한 기간은 화합물이 보다 낮은 탄소 수 화합물을 형성하기 위해 열분해 하기에 충분한 시간을 줄 수 있다.
- <74> 제조웰 (206) 로부터 생성된 지층 유체는 수집관 (208) 을 통해 처리 설비 (210) 로 운반될 수 있다. 또한, 지층 유체는 열원 (202) 으로부터 생성될 수 있다. 예컨대, 유체는 열원에 인접한 지층 내 압력을 제어하기 위해 열원 (202) 으로부터 생성될 수 있다. 열원 (202) 으로부터 형성된 유체는 튜브 또는 파이프를 통해 수집관 (208) 으로 운반되거나 또는 튜브 또는 파이프를 통해 처리 설비 (210) 로 직접 운반될 수 있다. 처리 설비 (210) 는 분리 유닛, 반응 유닛, 개량 (upgrading) 유닛, 연료 셀, 터빈, 저장 용기, 및/또는 생성된 지층 유체를 처리하기 위한 다른 시스템과 유닛을 포함할 수 있다. 처리 설비는 지층으로부터 생성된 탄화수소의 적어도 일부로부터 운반 연료를 형성할 수 있다. 몇몇의 실시형태에서, 운반 연료는 JP-8 과 같은 제트 연료일 수 있다.
- <75> 몇몇의 실시형태에서, 중질 오일 적용 (예컨대, 상대적으로 투과성인 지층 또는 타르 모래 지층의 처리) 을 위해 온도 제한 히터가 사용된다. 온도 제한 히터는 히터의 최대 평균 작동 온도가 350°C, 300°C, 250°C, 225°C, 200°C 또는 150°C 미만이 되도록 상대적으로 낮은 쿨리온도를 제공할 수 있다. 하나의 (예컨대 타르 모래 지층에 대한) 실시형태에서, 올레핀 생성 및 다른 분해 생성물의 제조를 억제하기 위해 히터의 최대 온도는 약 250°C 미만이 된다. 몇몇의 실시형태에서는, 보다 가벼운 탄화수소 생성물의 제조를 위해 약 250°C 이상

의 히터 최대 온도가 사용된다. 예를 들어, 히터의 최대 온도는 약 500℃ 또는 그 미만이 될 수 있다.

<76> 제조웰보어 및 제조웰보어 근방의 체적 내의 유체 온도가 유체의 저하를 유발하는 온도 미만이 되도록, 히터는 제조웰보어 근방 (근처 제조웰보어 영역) 의 지층 체적을 가열할 수 있다. 열원은 제조웰보어 또는 제조웰보어 근처에 위치할 수 있다. 몇몇의 실시형태에서, 열원은 온도 제한 히터이다. 몇몇의 실시형태에서, 두 개 이상의 열원이 체적을 가열할 수도 있다. 열원으로부터의 열은 제조웰보어 내 또는 그 근방의 미정제 오일의 점도를 감소시킬 수 있다. 몇몇의 실시형태에서, 열원으로부터의 열은 제조웰보어 내 또는 그 근방의 유체를 유동하도록 하고 그리고/또는 제조웰보어에 대해 유체의 방사상 유동을 향상시킨다. 몇몇의 실시형태에서, 미정제 오일의 점도 감소는, 제조웰보어로부터 중질 오일 (약 10° 이하의 API 중량인 오일), 또는 중간 중량 오일 (약 12° 내지 20° 의 API 중량인 오일) 의 가스 부양 (gas lift) 을 가능하게 하거나 또는 향상시킨다. 몇몇의 실시형태에서, 지층 내의 오일의 최초 API 중량은 10° 이하, 20° 이하, 25° 이하 또는 30° 이하이다. 특정 실시형태에서, 지층 내의 오일의 점도는 0.05 Pa·s (50 cp) 이상이다. 몇몇의 실시형태에서, 지층 내의 오일의 점도는 0.10 Pa·s (100 cp) 이상, 0.15 Pa·s (150 cp) 이상, 또는 0.20 Pa·s (200 cp) 이상이다. 0.05 Pa·s 이상의 점도를 갖는 오일의 가스 부양을 제공하기 위해 대량의 천연 가스를 사용해야 할 수도 있다. 지층 내의 제조웰보어 또는 그 근방에서의 오일의 점도를 0.05 Pa·s (50 cp), 0.03 Pa·s (30 cp), 0.02 Pa·s (20 cp), 0.01 Pa·s (10 cp) 또는 그 미만 (0.001 Pa·s (1 cp) 또는 더 낮은 값) 으로 감소시키면, 지층으로부터 오일을 부양하는 데 필요한 천연 가스의 양은 감소된다. 몇몇의 실시형태에서, 점도가 감소된 오일은 펌핑과 같은 다른 방법에 의해 제조된다.

<77> 제조웰 보어 내 또는 그 근방에서 지층 내의 오일의 점도를 낮추기 위해 제조웰보어 또는 그 근처의 온도를 올림으로써 지층으로부터의 오일의 제조 속도가 증가될 수 있다. 특정 실시형태에서, 지층으로부터의 오일 제조 속도는, 제조 시 지층에 대한 외부 가열이 없는 표준 냉간 제조에 비해 2 배, 3 배, 4 배 또는 20 배까지 증가된다. 특정 지층은 근처 제조웰보어 영역의 가열을 이용하여 향상된 오일 제조에 보다 경제적으로 실행 가능하다. 대략 0.05 m³/(웰보어 1m당 1일) ~ 0.20 m³/(웰보어 1m당 1일) 냉간 제조 속도를 갖는 지층은 근처 제조웰보어 영역에서 점도를 감소시키기 위한 가열을 이용하여 제조 속도를 상당히 개선할 수 있다. 몇몇의 실시형태에서, 775 m, 1000 m, 1500 m 까지 이르는 길이의 제조웰이 사용된다. 예를 들면, 450 m ~ 775 m, 550 m ~ 800 m, 또는 650 m ~ 900 m 의 제조웰이 사용된다. 따라서, 몇몇의 지층에서 제조가 상당히 증가된다. 근처 제조웰 영역의 가열은 냉간 제조 속도가 0.05 m³/(웰보어 1m당 1일) 와 0.20 m³/(웰보어 길이당 날짜) 사이가 아닌 지층 내에서 사용될 수 있지만, 그러한 지층의 가열은 경제적으로 유리하지 않을 수도 있다. 보다 높은 냉간 제조 속도는 근처 웰보어 영역의 가열에 의해 상당히 증가되지 않을 수 있는 한편, 보다 낮은 제조 속도는 경제적으로 유용한 값까지 증가되지 않을 수 있다.

<78> 제조웰 또는 그 근방에서 점도를 감소시키기 위해 온도 제한 히터를 사용함으로써 온도 비제한 히터와 관련한 문제 및 열점으로 인한 지층 내의 오일 가열에 관한 문제를 억제하게 된다. 한 가지 가능한 문제점은 온도 비제한 히터는 너무 높은 온도에 있기 때문에 오일을 과열시키는 경우 제조웰 또는 그 근방에서 오일의 코킹 (coking) 을 유발할 수 있다는 점이다. 또한, 제조웰 내의 보다 높은 온도로 인해 소금물이 웰 내에서 끓게 되어 웰 내에 스케일 (scale) 을 형성할 수 있다. 보다 높은 온도에 도달할 수 있는 온도 비제한 히터는 다른 웰보어 요소 (예컨대, 모래 조절용 스크린, 펌프 또는 밸브) 에 손상을 가할 수도 있다. 히터에 대항하여 뺏어나가거나 히터 상에 붕괴되는 지층 부분에 의해 열점이 발생할 수 있다. 몇몇의 실시형태에서, 히터 (온도 제한 히터 또는 다른 종류의 온도 비제한 히터) 는 긴 히터 길이에 걸친 처짐 때문에 더 낮은 구역을 갖는다. 이러한 보다 낮은 구역은 웰보어의 하부에서 수집되는 중질유 또는 역청 내에 위치할 수 있다. 이러한 보다 낮은 구역에서, 히터는 중질유 또는 역청의 코킹으로 인하여 열점을 만들어낼 수 있다. 표준의 온도 비제한 히터는 이러한 열점에서 과열되고 그 결과 히터의 길이에 따라 불균일한 양의 열을 발생시키게 된다. 온도 제한 히터의 사용은 열점 또는 보다 낮은 구역에서의 히터의 과열을 방지하고, 웰보어의 길이에 따라 보다 균일한 가열을 제공한다.

<79> 특정 실시형태에서, 중질 탄화수소를 함유한 상대적으로 투과성인 지층 내의 유체는 지층 내에서의 탄화수소의 열분해가 거의 또는 전혀 없이 제조된다. 특정 실시형태에서, 중질 탄화수소를 함유한 상대적으로 투과성인 지층은 타르 모래 지층이다. 예를 들면, 지층은 캐나다 앨버타의 아타바스카(Athabasca) 타르 모래 지층과 같은 타르 모래 지층, 또는 캐나다 앨버타의 그로스몬트 (Grosmont) 탄산염 지층과 같은 탄산염 지층일 수 있다. 지층으로부터 제조된 유체는 유동성 있는 유체이다. 유동성 있는 유체의 제조는 타르 모래 지층으로부터 열분해된 유체를 제조하는 것보다 더욱 경제적이다. 유동성 있는 유체의 제조는 또한 타르 모래 지층으로부터 제조된 탄화수소의 총량을 증가시킬 수도 있다.

- <80> 도 3 내지 도 6 은 타르 모래 지층으로부터 유동성 있는 유체를 제조하기 위한 실시형태의 측면도를 나타낸다. 도 3 내지 도 6 에서, 히터 (212) 는 탄화수소 층 (214) 내에 실질적으로 수평인 가열 구역을 갖는다 (도시된 바와 같이, 히터는 지면 내외로 출입하는 가열 구역을 갖는다). 도 3 은 상대적으로 얇은 탄화수소 층을 갖는 타르 모래 지층으로부터 유동성 있는 유체를 제조하기 위한 실시형태의 측면도를 나타낸다. 도 4 는 보다 두꺼운 탄화수소 층으로부터 유동성 있는 유체를 제조하기 위한 실시형태의 측면도를 나타낸다 (도 4 에 나타난 탄화수소 층은 도 3 에 나타난 탄화수소 층보다 두껍다). 도 5 는 보다 더 두꺼운 탄화수소 층으로부터 유동성 있는 유체를 제조하기 위한 실시형태의 측면도를 나타낸다 (도 5 에 나타난 탄화수소 층은 도 4 에 나타난 탄화수소 층보다 두껍다). 도 6 은 세일 결층을 갖는 탄화수소 층을 갖는 타르 모래 지층으로부터 유동성 있는 유체를 제조하기 위한 실시형태의 측면도를 나타낸다.
- <81> 도 3 에서, 히터 (212) 는 탄화수소 층 (214) 내에 엇갈린 삼각형 패턴으로 위치한다. 도 4, 도 5 및 도 6 에서, 히터 (212) 는 탄화수소 층의 대다수 또는 거의 모두를 포함하도록 수직으로 반복하는 엇갈린 삼각형 패턴으로 탄화수소 층 (214) 내에 위치한다. 도 6 에서, 탄화수소 층 (213) 내의 히터 (212) 의 엇갈린 삼각형 무늬는 세일 결층 (216) 을 가로질러 중단되지 않고 반복된다. 도 3 내지 도 6 에서, 히터 (212) 는 서로 동일 간격으로 떨어져 있을 수 있다. 도 3 내지 도 6 에 나타난 실시형태에서, 히터 (212) 의 수직 열의 개수는 히터 간의 원하는 간격, 탄화수소 층 (214) 의 두께, 및/또는 세일 결층 (216) 의 개수 및 위치와 같은 요인에 의존하지만, 이러한 요인들에 한정되는 것은 아니다. 몇몇의 실시형태에서, 히터 (212) 는 다른 패턴으로 배열된다. 예컨대, 히터 (212) 는 육각형 패턴, 정방형 패턴, 또는 직사각형 패턴과 같은 패턴으로 배열될 수 있으며, 이러한 패턴에 한정되는 것은 아니다.
- <82> 도 3 내지 도 6 에 나타난 실시형태에서, 히터 (212) 는 탄화수소 층 (214) 내에서 탄화수소를 가동화하는 (탄화수소의 점도를 감소시키는) 열을 제공한다. 특정 실시형태에서, 히터 (212) 는 탄화수소 층 (214) 내의 탄화수소의 점도를 약 0.50 Pa·s (500 cp) 미만, 약 0.10 Pa·s (100 cp) 미만, 또는 약 0.05 Pa·s (50 cp) 미만으로 감소시키는 열을 제공한다. 히터 (212) 사이의 간격 및/또는 히터의 열출력은 탄화수소 층 (214) 내의 탄화수소의 점도를 원하는 값으로 감소시키도록 설계 및/또는 제어된다. 히터 (212) 에 의해 제공된 열은 탄화수소 층 (214) 내에 열분해가 거의 또는 전혀 일어나지 않도록 제어될 수 있다. 히터 사이의 열 증점은 히터 사이에 하나 이상의 배출 경로 (예컨대, 유체의 우동을 위한 경로) 를 만들 수 있다. 특정 실시형태에서, 제조웰 (206A) 및/또는 제조웰 (206B) 은 히터로부터의 열이 제조웰에 대해 중첩되도록 히터 (212) 근방에 위치한다. 제조웰 (206A) 및/또는 제조웰 (206B) 에 대한 히터 (212) 로부터의 열의 증점은 상기 히터로부터 제조웰 쪽으로 하나 이상의 배출 경로를 만들게 된다. 특정 실시형태에서, 하나 이상의 배출 경로는 한 곳으로 수렴한다. 예를 들면, 배출 경로는 최저부 히터 또는 그 근방에서 수렴할 수 있고, 그리고/또는 배출 경로는 제조웰 (206A) 및/또는 제조웰 (206B) 또는 그 근방에서 수렴할 수도 있다. 탄화수소 층 (214) 내에서 가동화된 유체는, 히터 및/또는 제조웰에 의해 만들어진 중력 및 열, 압력 구배 때문에, 탄화수소 층 내에서 최저부 히터 (212), 제조웰 (206A) 및/또는 제조웰 (206B) 쪽으로 유동하는 경향이 있다. 배출 경로 및/또는 수렴하는 배출 경로는 제조웰 (206A) 및/또는 제조웰 (206B) 이 탄화수소 층 (214) 내의 가동화된 유동을 수집하도록 한다.
- <83> 특정 실시형태에서, 탄화수소 층 (214) 는 가동화된 유체가 제조웰 (206A) 및/또는 제조웰 (206B) 쪽으로 배출 되도록 하기에 충분한 투과도를 갖는다. 예를 들면, 탄화수소 층 (214) 은 약 0.1 darcy 이상, 약 1 darcy 이상, 약 10 darcy 이상, 또는 약 100 darcy 이상의 투과도를 가질 수 있다. 몇몇의 실시형태에서, 탄화수소 층 (214) 은 상대적으로 큰 수평 투과도에 대한 수직 투과도의 비율 (K_v/K_h) 을 갖는다. 예를 들면, 탄화수소 층 (214) 은 약 0.01 ~ 약 2, 약 0.1 ~ 약 1, 또는 약 0.3 ~ 약 0.7 의 K_v/K_h 비율을 가질 수 있다.
- <84> 특정 실시형태에서, 유체는 탄화수소 층 (214) 의 하부에 있는 히터 (212) 근방에 위치한 제조웰 (206A) 을 통하여 제조된다. 몇몇의 실시형태에서, 유체는 탄화수소 층 (214) 의 하부에 있는 히터 (212) 의 아래 및 그 히터 사이의 거의 중간 지점에 위치한 제조웰 (206B) 을 통해 제조된다. 제조웰 (206A) 및/또는 제조웰 (206B) 의 적어도 일부는 탄화수소 층 (214) 내에서 실질적으로 수평으로 배향될 수 있다 (도 3 내지 도 6 에 나타난 바와 같이, 제조웰은 지면 내외로 출입하는 수평 부분을 갖는다). 제조웰 (206A) 및/또는 제조웰 (206B) 은 하부 히터 (212) 또는 최저부 히터 근방에 위치할 수도 있다.
- <85> 몇몇의 실시형태에서, 제조웰 (206A) 은 탄화수소 층 (214) 내의 최저부 히터의 실질적으로 수직 아래에 위치한다. 제조웰 (206A) 은 히터 패턴의 바닥 정점에서 (예컨대, 도 3 내지 도 6 에 나타난 히터의 삼각형 패턴의 바닥 정점에서) 히터 (212) 의 아래에 위치할 수 있다. 제조웰 (206A) 을 최저부 히터의 실질적으로 수

직 아래에 위치시키면 탄화수소 층 (214) 내의 가동화된 유체의 효율적으로 수집할 수 있다.

- <86> 특정 실시형태에서, 최저부 히터는 탄화수소 층 (214) 의 바닥으로부터 약 2 m ~ 약 10 m, 탄화수소 층의 바닥으로부터 약 4 m ~ 약 8 m, 또는 탄화수소 층의 바닥으로부터 약 5 m ~ 약 7 m 에 위치한다. 특정 실시형태에서, 제조웰 (206A) 및/또는 제조웰 (206B) 은 히터로부터의 열이 제조웰에 대해 중첩되도록 최저부 히터 (212) 로부터 일정거리에 위치하지만, 제조웰에서의 코킹을 억제하도록 히터로부터 일정 거리에 위치한다. 제조웰 (206A) 및/또는 제조웰 (206B) 은 최근방의 히터 (예컨대, 최저부 히터) 로부터 히터 패턴 (예컨대, 도 3 내지 도 6 에 나타난 히터의 삼각형 패턴) 내의 히터 사이 간격의 3/4 이하의 간격으로 위치할 수 있다. 몇몇 실시형태에서, 제조웰 (206A) 및/또는 제조웰 (206B) 은 최근방의 히터로부터 히터의 패턴 내에서 히터 사이 간격의 2/3 이하, 1/2 이하, 또는 1/3 이하의 간격으로 위치한다. 특정 실시형태에서, 제조웰 (206A) 및/또는 제조웰 (206B) 은 최저부 히터로부터 약 2 m ~ 약 10 m, 최저부 히터로부터 약 4 m ~ 약 8 m, 최저부 히터로부터 약 5 m ~ 약 7 m 에 위치한다. 제조웰 (206A) 및/또는 제조웰 (206B) 은 탄화수소 층 (214) 의 바닥으로부터 약 0.5 m ~ 약 8 m, 탄화수소 층의 바닥으로부터 약 1 m ~ 약 5 m, 또는 탄화수소 층의 바닥으로부터 약 2 m ~ 약 4 m 에 위치할 수 있다.
- <87> 몇몇의 실시형태에서, 적어도 몇몇의 제조웰 (206A) 은 도 6 에 나타난 바와 같이, 세일 결층 (216) 근방에서 히터 (212) 하부에 실질적으로 수직 아래에 위치한다. 제조웰 (206A) 은 새일 결층 상부에서 유동 및 모이는 유체를 제조하도록, 히터 (212) 와 새일 결층 (216) 사이에 위치한다. 새일 결층 (216) 은 탄화수소 층 (214) 내의 불투과성 장벽일 수 있다. 몇몇의 실시형태에서, 새일 결층 (216) 은 약 1 m ~ 약 6 m, 약 2 m ~ 약 5 m, 약 3 m ~ 약 4 m 의 두께를 갖는다. 도 6 에 나타난 바와 같이, 히터 (212) 와 새일 결층 (216) 사이의 제조웰 (206A) 은 탄화수소 층 (214) 의 상부 (새일 결층 상부) 로부터 유체를 제조하고, 탄화수소 층 내의 최저부 히터 아래의 제조웰 (206B) 은 탄화수소 층의 하부 (세일 결층 하부) 로부터 유체를 제조한다. 몇몇의 실시형태에서, 두 개 이상의 세일 결층이 탄화수소 층 내에 존재할 수 있다. 그와 같은 실시형태에서, 제조웰은 세일 상부에서 유동 및 모이는 유체를 제조하도록 각각의 세일 결층 또는 그 근방에 위치한다.
- <88> 몇몇의 실시형태에서, 세일 결층 (216) 은 새일 결층이 그의 양측에 있는 히터 (212) 에 의해 가열됨에 따라 부서진다 (긴조된다). 세일 결층 (216) 이 부서짐에 따라, 세일 결층의 투과도는 증가하며, 세일 결층은 세일 결층을 통해 유체가 흐르게 한다. 일단 유체가 세일 결층 (216) 을 통해 흐를 수 있게 되면, 유체가 탄화수소 층 (214) 의 바닥 또는 그 근방에 있는 제조웰 쪽으로 흐를 수 있고 거기서 제조될 수 있기 때문에, 세일 결층 상부의 제조웰은 제조에 필요하지 않을 수도 있다.
- <89> 특정 실시형태에서, 세일 결층 (216) 상부의 최저부 히터는 세일 결층으로부터 약 2 m ~ 약 10 m, 세일 결층으로부터 약 4 m ~ 약 8 m, 또는 세일 결층으로부터 약 5 m ~ 약 7 m 에 위치한다. 제조웰 (206A) 은 세일 결층으로부터 약 2 m ~ 약 10 m, 세일 결층 (216) 으로부터 약 4 m ~ 약 8 m, 또는 세일 결층 (216) 으로부터 약 5 m ~ 약 7 m 에 위치할 수 있다. 제조웰 (206A) 은 세일 결층 (216) 으로부터 약 0.5 m ~ 약 8 m, 세일 결층 (216) 으로부터 약 1 m ~ 약 5 m, 또는 세일 결층 (216) 으로부터 약 2 m ~ 약 4 m 에 위치할 수 있다.
- <90> 몇몇의 실시형태에서, 도 3 내지 도 6 에 도시된 제조웰 (206A) 및/또는 제조웰 (206B) 에 열이 공급될 수 있다. 제조웰 (206A) 및/또는 제조웰 (206B) 에 대한 열 공급은 제조웰 내의 유체의 유동성을 유지 및/또는 향상시킬 수 있다. 제조웰 (206A) 및/또는 제조웰 (206B) 에 공급되는 열은 히터로부터 제조웰 쪽으로 유동 경로를 만들기 위해 히터 (212) 로부터의 열과 중첩될 수도 있다. 몇몇의 실시형태에서, 제조웰 (206A) 및/또는 제조웰 (206B) 은 지층 표면으로 유체를 제거하기 위해 펌프를 포함할 수 있다. 몇몇의 실시형태에서, 제조웰 (206A) 및/또는 제조웰 (206B) 내의 유체 (오일) 의 점도는 히터 및/또는 희석액 주입을 이용하여 (예컨대, 희석액 주입을 위해 제조웰에 도관을 이용하여) 낮출 수 있다.
- <91> 특정 실시형태에서, 구동 공정 (예컨대, 주기적인 증기 주입과 같은 증기 주입 공정, 용매 주입 공정, 또는 이산화탄소 주입 공정) 이 현장 열 처리 공정 외에 타르 모래 지층을 처리하는 데 사용된다. 몇몇 실시형태에서, 히터는 상기 구동 공정을 위해 지층 내의 고투과성 영역 (또는 주입 영역) 을 만들기 위해 사용된다. 히터는 상기 구동 공정 동안 지층을 통해 유체가 흐르게 하기 위해, 지층 내에 가동화 형상 또는 제조 네트워크를 만드는 데 사용될 수 있다. 예를 들면, 상기 구동 공정을 위해 히터와 제조웰 사이에 배출 경로를 만드는 데 히터가 사용될 수 있다. 몇몇의 실시형태에서, 히터는 구동 공정 동안 열을 공급하는 데 사용될 수 있다. 히터에 의해 공급되는 열의 양은 상기 구동 공정으로부터의 열 유입 (예컨대, 증기 주입으로부터의 열 유입) 과 비교하여 소량일 수 있다.

- <92> 몇몇의 실시형태에서, 상기 구동 공정 (예컨대 증기 주입 방법) 은 현장 열 처리 이전에 유체를 가동화시키는 데 사용된다. 증기 주입은 지층 내의 암석 또는 다른 암석층으로부터 탄화수소 (오일) 을 분리하기 위해 사용될 수 있다. 증기 주입은 암석을 가열하지 않고 오일을 가동화시킬 수 있다.
- <93> 몇몇의 실시형태에서, 상기 구동 공정은 지층으로부터 탄화수소를 처리 및 제조하는 데 사용된다. 상기 구동 공정은 지층으로부터 적정 위치에서 소량의 오일을 회수(예컨대 지층으로부터 적정 위치 내에 20% 미만의 오일 회수)할 수 있다. 현장 열 처리 공정은 지층으로부터 적정 위치에서 오일 회수를 증가시키기 위해 상기 구동 공정 다음에 사용될 수 있다. 몇몇의 실시형태에서, 상기 구동 공정은 현장 열 처리 공정을 위해 지층을 예열한다. 몇몇 실시형태에서 상기 구동 공정을 사용하여 지층이 처리된 후 상당한 시간 후에 현장 열 처리 공정을 사용하여 지층을 처리한다 (예컨대 현장 열 처리 공정은 상기 구동 공정 이후 1년, 2년, 또는 4년 후에 사용된다).
- <94> 실시예
- <95> 타르 모래 지층을 가열하는 실시예를 이하에 제시하며, 이하의 실시예는 한정적인 것은 아니다.
- <96> 도 3 에 나타난 히터 웰 패턴을 사용하여 타르 모래 지층의 가열을 시뮬레이션하기 위해 STARS 시뮬레이션 (캐나다 앨버타 캘거리의 Computer Modelling Group, LTD.) 이 사용되었다. 히터는 600 m 의 타르 지층 모래 내의 수평 길이를 갖는다. 히터 가열 속도는 약 750 W/m 이다. 도 3 에 나타난 제조웰 (206B) 은 시뮬레이션에서 제조웰에 사용되었다. 수평 제조웰 내의 바닥 구멍 압력은 약 690 kPa 로 유지되었다. 타르 모래 지층 특성은 아타바스카 (Athabasca) 타르 모래에 기초한 것이다. 타르 모래 지층 시뮬레이션의 입력 특성은, 초기 다공도 = 0.28, 초기 오일 침윤 = 0.8, 초기 물 침윤 = 0.2, 초기 피 (fee) 가스 침윤 = 0.0, 초기 수직 투과도 = 250 millidarcy, 초기 수평 투과도 = 500 millidarcy, 초기 K_v/K_h = 0.5, 탄화수소 층 두께 = 28 m, 탄화수소 층 깊이 = 587 m, 초기 저장소 압력 = 3771 kPa, 제조웰과 탄화수소 층의 하부 경계 사이의 거리 = 2.5 m, 최상부 히터 및 상부 퇴적물의 거리 = 9 m, 히터 사이의 간격 = 9.5 m, 초기 탄화수소 층 온도 = 18.6 °C, 초기 온도에서의 점도 = 53 Pa · s (53000 cp), 및 타르 내의 오일에 대한 가스 비 (GOR) = 50 표준 평방 피트/표준 배럴이 된다. 히터는 모래 표면에서 538°C 의 최고 온도 및 755 W/m 의 히터 파워를 갖는 일정한 와트의 히터였다. 히터 웰의 직경은 15.2 m 였다.
- <97> 도 7 은 STARS 시뮬레이션을 이용하여 360 일 이후의 지층 내의 온도 분포를 나타낸다. 최고 온도 지점은 히터 (212) 또는 그 근방이다. 온도 분포는 히터 사이의 지층 부분이 지층의 다른 부분보다 온도가 더 높다는 것을 나타낸다. 보다 온도가 높은 부분은 히터 사이에 더 큰 유동성을 발생시키고 제조웰 쪽으로 아래로 배출되도록 지층 내에 유체의 유동 경로를 만든다.
- <98> 도 8 은 STARS 시뮬레이션을 이용하여 360 일 이후의 지층 내의 오일 침윤 분포를 나타낸다. 오일 침윤은 100% 의 오일 침윤을 1.00 으로 하여 0.00 ~ 1.00 의 스케일로 나타나 있다. 오일 침윤 스케일은 사이드바에 나타내었다. 360 일에서의 오일 침윤은 히터 (880) 및 제조웰 (206B) 에서 다소 낮다. 도 9 는 STARS 시뮬레이션을 이용하여 1095 일 후의 지층 내 오일 침윤 분포를 나타낸다. 오일 침윤은 지층 내에서 전반적으로 감소하며, 히터 근방 및 히터 사이에서의 오일 침윤은 1095 일 후 크게 감소하였다. 도 10 은 STARS 시뮬레이션을 사용하여 1470 일 후의 지층 내 오일 침윤 분포를 나타낸다. 도 10 에서의 오일 침윤 분포는 오일이 가동화되어 지층의 하부 쪽으로 유동하고 있음을 나타낸다. 도 11 은 STARS 시뮬레이션을 이용하여 1826 일 후의 지층 내 오일 침윤 분포를 나타낸다. 오일 침윤은 지층의 대부분에서 낮으며 몇몇 높은 오일 침윤이 제조웰 (206B) 아래의 지층 부분 바닥 또는 그 근방에서 유지된다. 이러한 오일 침윤 분포는 지층 내의 오일 대부분이 1826 일 후에 지층으로부터 제조되었음을 나타낸다.
- <99> 도 12 는 STARS 시뮬레이션을 이용하여 1826 일 후의 지층 내 온도 분포를 나타낸다. 온도 분포는 히터 (212) 를 제외한 지층 및 지층의 극단 (코너) 부분에서 상대적으로 균일한 온도 분포를 나타낸다. 온도 분포는 제조웰로 이르는 유동 경로가 히터 사이에 만들어졌음을 나타낸다.
- <100> 도 13 은 시간 (년) 에 대한 오일 제조 속도 (218) (bbl/일) (왼쪽 축선) 및 가스 제조 속도 (220) (ft³/일) (오른쪽 축선) 을 나타낸다. 오일 제조 및 가스 제조 그래프에서 보듯이, 제조 초기 단계 (0~1.5년) 에서는 오일이 제조되고 가스는 거의 제조되지 않는다. 이 시간 동안 제조된 오일은 열분해되지 않은 중질의 가동화된 오일이었다. 약 1.5 년 후, 오일 제조가 급격하게 감소함에 따라 가스 제조가 급격하게 증가하였다. 가스 제조 속도는 약 2 년에서 급격히 감소한다. 그 후 오일 제조는 약 3.75 년 근방에서 최대 제조까지

서서히 증가하였다. 그 후 지층 내의 오일이 고갈됨에 따라 오일 제조는 서서히 감소하였다.

<101> STARS 시뮬레이션으로부터, 에너지 유출 (제조된 오일 및 가스 에너지 함량) 대 에너지 유입 (지층 내로의 히터 입력) 의 비는 약 5 년 후 약 12 대 1 로 계산되었다. 적정 위치 내의 오일의 회수 백분율은 약 5 년 후 약 60% 로 계산되었다. 따라서, 도 3 에 나타난 히터 및 제조웰 패턴의 실시형태를 사용한 타르 모래 지층으로부터 오일을 제조하면 높은 오일 회수 및 에너지 유입에 대비 높은 에너지 유출 비를 얻을 수 있다.

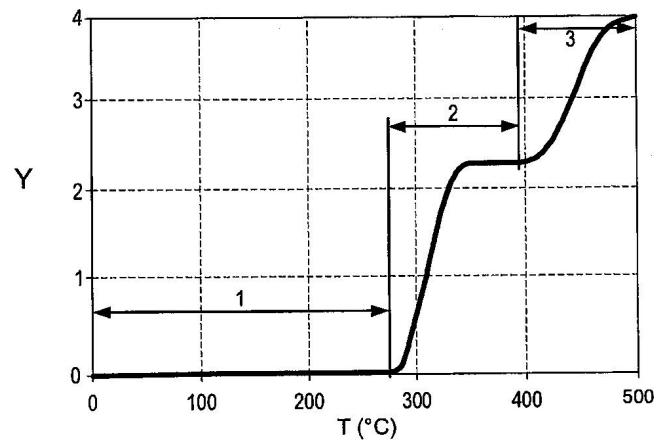
<102> 본 발명의 다양한 측면에서의 다른 수정 및 대안적인 실시형태가 이 명세서로부터 본 기술분야의 당업자에게 명백할 수 있다. 따라서, 본 명세서는 단지 설명적인 것으로 해석되어야 하며, 본 발명을 실시하는 일반적인 방식을 본 기술분야의 당업자에게 설명하기 위한 것이다. 여기서 설명한 본 발명의 형태는 현재 바람직한 실시형태로서 이해해야 한다. 요소 및 재료는 여기서 설명하는 것으로 대체될 수 있고, 부품과 과정은 역으로 될 수 있으며, 본 발명의 특정 측면들은 본 명세서의 이점을 가진 후 본 기술분야의 당업자에게 명백한 것처럼 독립적으로 이용될 수 있다. 이하의 청구범위에 기재된 본 발명의 보호범위를 벗어나지 않으면서 여기서 설명한 요소에 변형이 가해질 수 있다. 그리고, 여기서 독립적으로 설명한 측면들은 특정 실시형태에서 조합될 수 있다.

도면의 간단한 설명

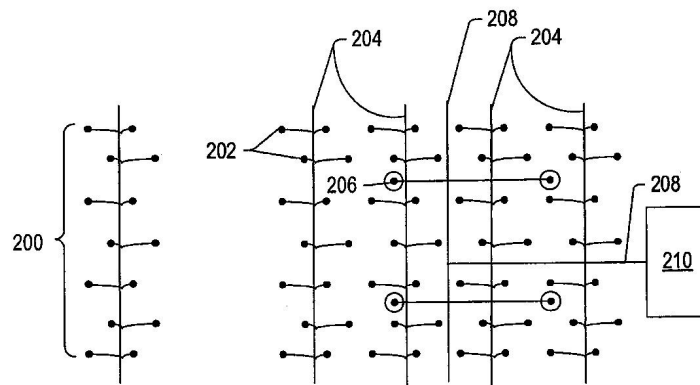
- <17> 도 1 은 탄화수소 함유 지층의 가열 단계를 보여준다.
- <18> 도 2 는 탄화수소 함유 지층을 처리하기 위한 현장 열처리 시스템 중 일부의 실시형태의 개략도이다.
- <19> 도 3 은 상대적으로 얇은 탄화수소 층을 갖는 타르 모래 지층으로부터 유동성 있는 유체를 제조하기 위한 실시형태의 측면도를 나타낸다.
- <20> 도 4 는 도 3 에 나타난 탄화수소 층보다 두꺼운 탄화수소 층을 갖는 타르 모래 지층으로부터 유동성 있는 유체를 제조하기 위한 실시형태의 측면도를 나타낸다.
- <21> 도 5 는 도 4 에 나타난 탄화수소 층보다 두꺼운 탄화수소 층을 갖는 타르 모래 지층으로부터 유동성 있는 유체를 제조하기 위한 실시형태의 측면도를 나타낸다.
- <22> 도 6 은 셰일 결층 (shale break) 을 갖는 탄화수소 층을 갖는 타르 모래 지층으로부터 유동성 있는 유체를 제조하기 위한 실시형태의 측면도를 나타낸다.
- <23> 도 7 은 STARS 시뮬레이션을 사용하여 360 일 이후의 지층 내의 온도 분포를 나타낸다.
- <24> 도 8 은 STARS 시뮬레이션을 사용하여 360 일 이후의 지층 내의 오일 침윤 분포를 나타낸다.
- <25> 도 9 는 STARS 시뮬레이션을 사용하여 1095 일 이후의 지층 내의 오일 침윤 분포를 나타낸다.
- <26> 도 10 은 STARS 시뮬레이션을 사용하여 1470 일 이후의 지층 내의 오일 침윤 분포를 나타낸다.
- <27> 도 11 은 STARS 시뮬레이션을 사용하여 1826 일 이후의 지층 내의 오일 침윤 분포를 나타낸다.
- <28> 도 12 는 STARS 시뮬레이션을 사용하여 1826 일 이후의 지층 내의 오일 침윤 분포를 나타낸다.
- <29> 도 13 은 시간에 대한 오일 제조 속도 및 가스 제조 속도를 나타낸다.

도면

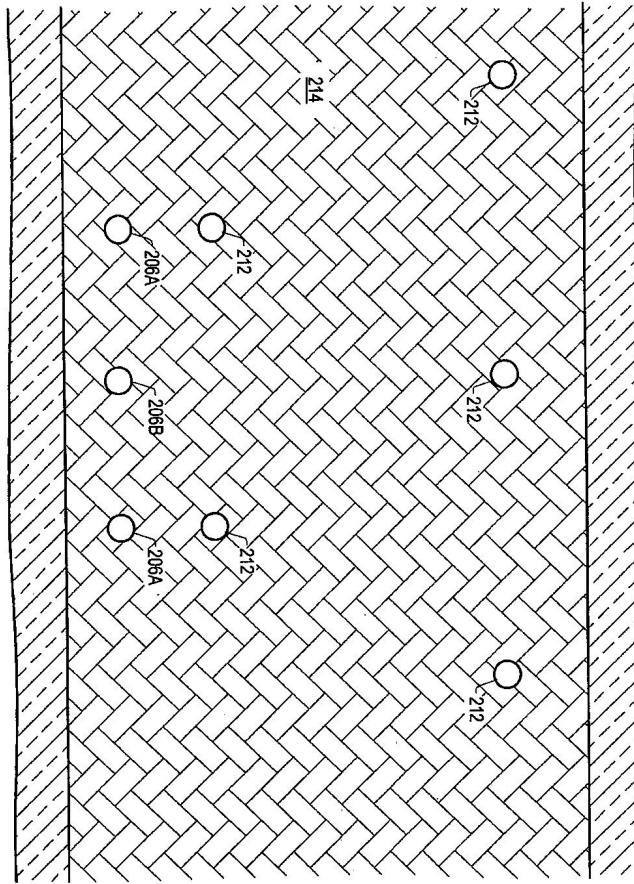
도면1



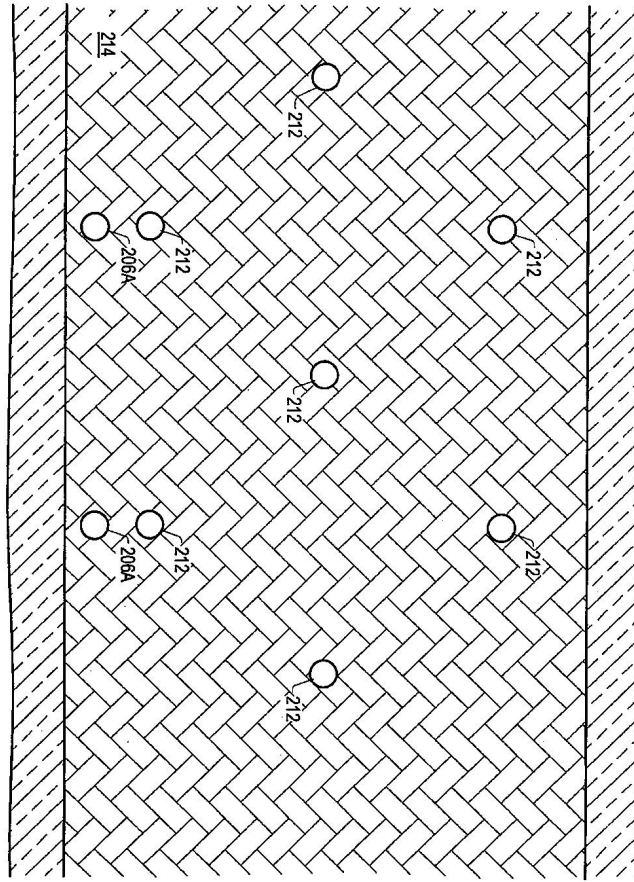
도면2



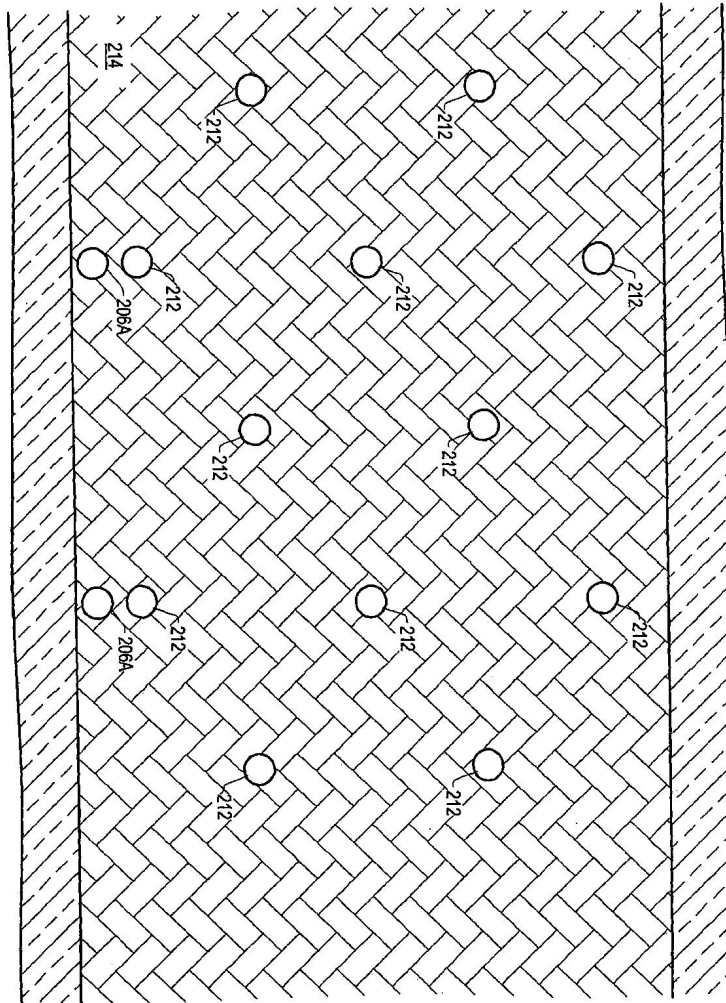
도면3



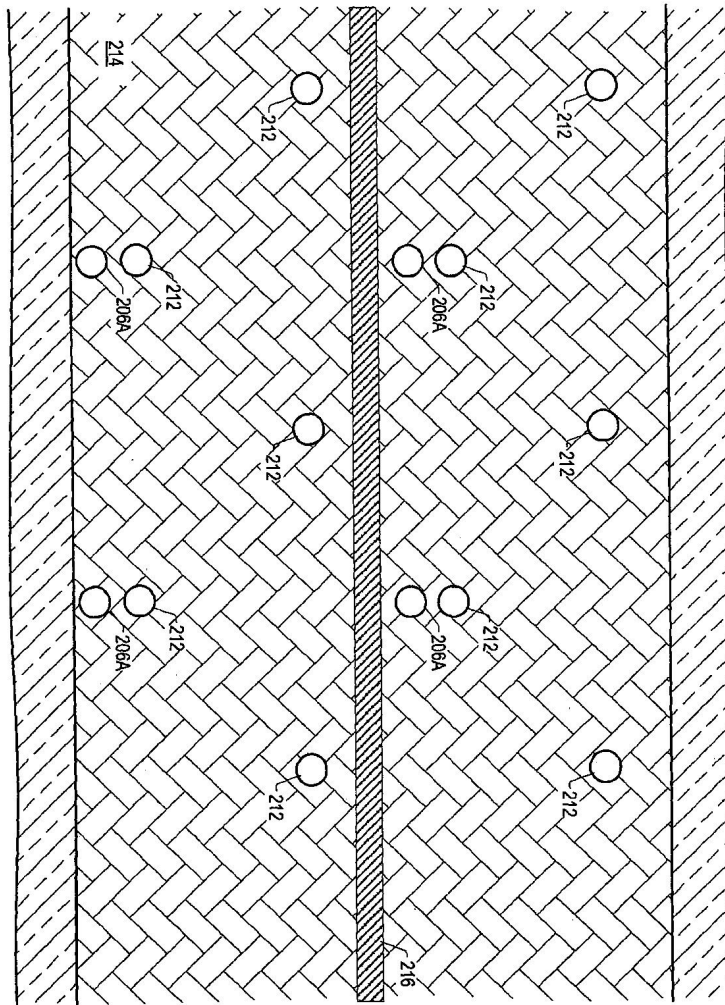
도면4



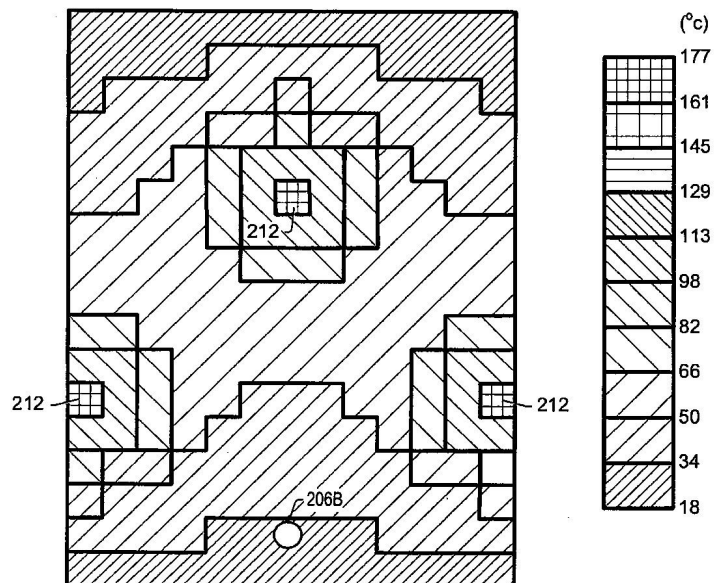
도면5



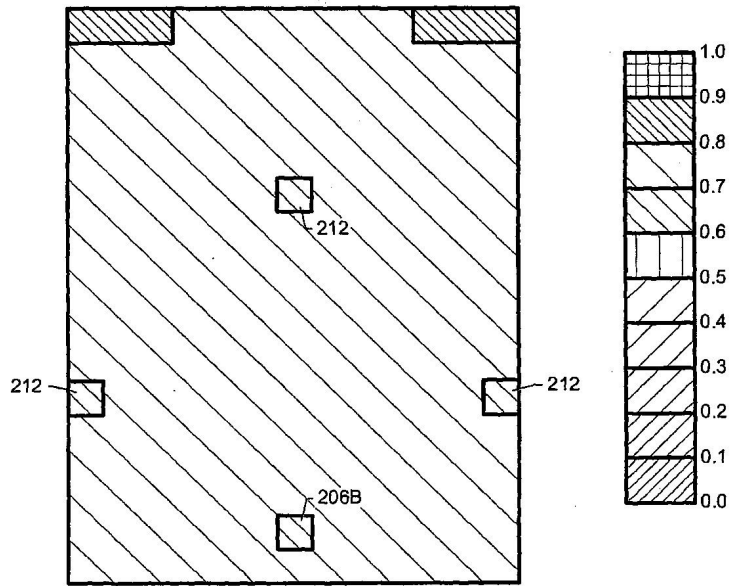
도면6



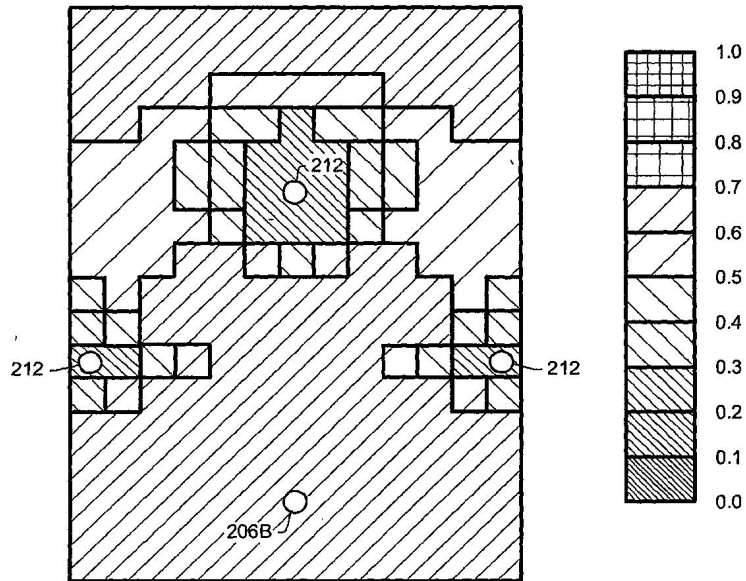
도면7



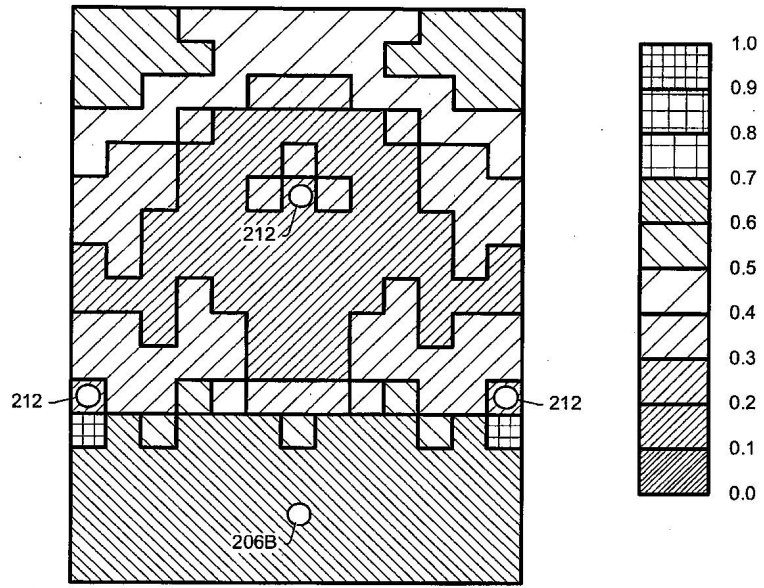
도면8



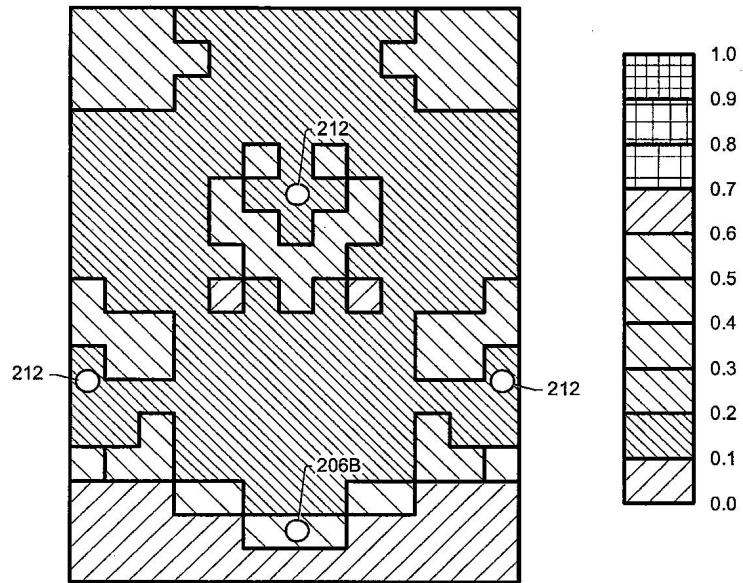
도면9



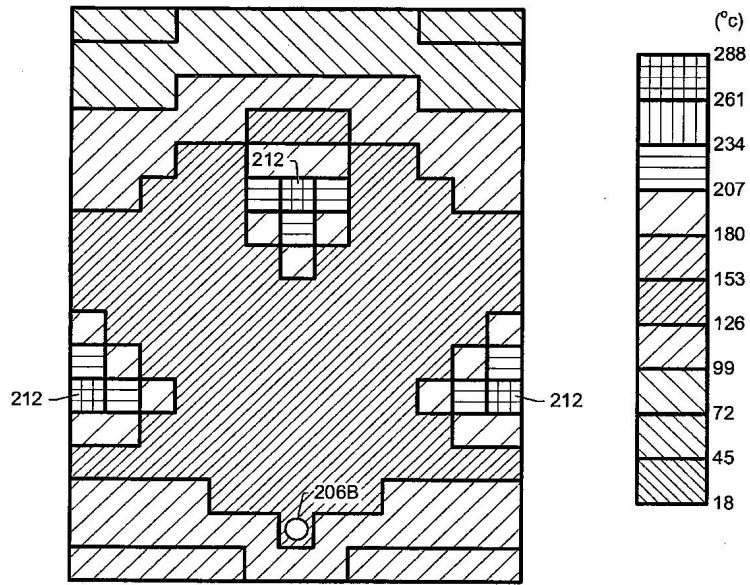
도면10



도면11



도면12



도면13

