



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년03월14일  
(11) 등록번호 10-1838255  
(24) 등록일자 2018년03월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
E21B 41/00 (2006.01) E21B 47/00 (2006.01)  
G06F 17/18 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
E21B 41/0092 (2013.01)  
E21B 47/00 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2016-0156687  
(22) 출원일자 2016년11월23일  
심사청구일자 2016년11월23일  
(56) 선행기술조사문헌  
US20140166278 A1  
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자  
인하대학교 산학협력단  
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)  
(72) 발명자  
신현돈  
서울특별시 양천구 목동서로 340 목동아파트 930-103  
김민  
대전광역시 중구 계룡로 873-11, 강남어린이집 (용두동)  
(74) 대리인  
이은철, 이수찬

전체 청구항 수 : 총 7 항

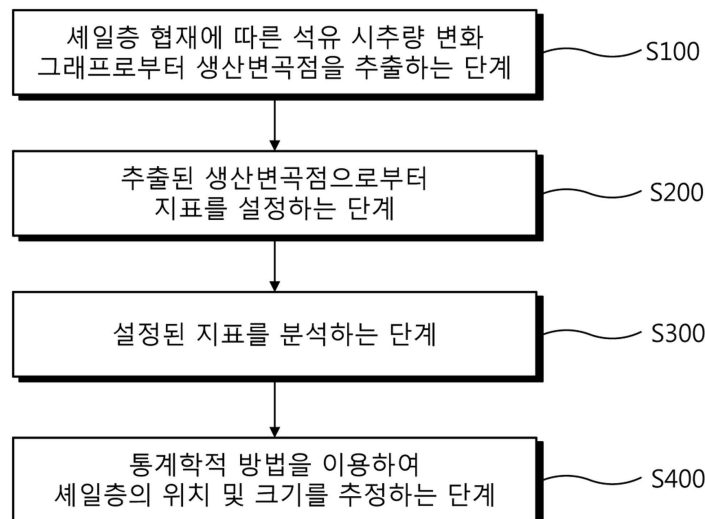
심사관 : 김옥기

(54) 발명의 명칭 세일 장애층 크기의 통계적 추정방법

(57) 요약

본 발명은 하는 세일 장애층 크기의 통계적 추정방법에 관한 것으로서, (a) 세일층 협제에 따른 일일 오일 생산량 그래프로부터 생산변곡점을 추출하는 단계; (b) 추출된 상기 생산변곡점으로부터 변수를 설정하는 단계; (c) 설정된 상기 변수를 분석하는 단계; 그리고 (d) 통계학적 방법을 이용하여 세일층의 크기를 추정하는 단계;를 포함하여 이루어진다. 이처럼, 일련의 단계들을 수행하여 세일층의 크기 예측을 위한 변수를 설정하고, 설정된 변수를 검증하여 세일층의 크기와 관련된 폭(WD), 길이(LN)를 예측할 수 있으므로, 예측된 세일층의 크기를 이용하여 오일생산량을 증대할 수 있는 위치에 생산정 및 주입정을 시추하도록 디자인할 수 있다. 이에 따라, 오일샌드에 협제된 세일층의 크기를 파악하여 추후 삽입할 생산정 및 주입정의 위치를 디자인하여 오일 생산량을 효율적으로 증대할 수 있는 효과가 있다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

**G06F 17/18** (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

KR101685550 B1

US20120237981 A1

KR101685549 B1

김정호. 셰일층이 협재하는 오일샌드 저류층의 SAGD 수평정 위치 최적화. 인하대학교 석사학위논문. 에너지자원공학과(2015.02)

강은규. 최적의 셰일가스 생산성평가지표 및 생산 곡선에 미치는 인자분석. 인하대학교 석사학위논문. 에너지자원공학과(2016.02)

공지예외적용 : 있음

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

- (a) 세일층 협제에 따른 일일 오일 생산량 그래프로부터 생산변곡점을 추출하는 단계;
- (b) 추출된 상기 생산변곡점으로부터 폭(WD, width), 길이(LN, length), 수직적 위치(VL, vertical location), 그리고 두께(TS, thickness)를 독립변수로 설정하는 단계;
- (c) 설정된 상기 독립변수들과 종속변수인 상기 생산변곡점 간 관계를 분석하는 단계; 그리고
- (d) 반응표면분석법(RSM)을 통해 세일층의 폭 및 길이의 예측하는 통계학적 방법인 박스-벤킨법을 이용하여 세일층의 크기를 추정하는 단계;
- 를 포함하는 것을 특징으로 하는 세일 장애층 크기의 통계적 추정방법.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 (a) 단계 내지 상기 (d) 단계는 상기 세일층 협제에 따른 일일 오일 생산량 그래프를 모니터링하는 프로세서에서 수행되며,

상기 (a) 단계는 상기 세일층 협제에 따른 일일 오일 생산량 그래프에서 기울기 형태가 급격하게 변하는 네 개의 생산변곡점을 추출하여 수행되는 것을 특징으로 하는 세일 장애층 크기의 통계적 추정방법.

#### 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 (a) 단계는 상기 생산변곡점은 상기 세일층 협제에 따른 일일 오일 생산량 그래프에서 x축의 진행방향에 따라 추출된 순서대로 첫 번째 생산변곡점, 두 번째 생산변곡점, 그리고 세 번째 생산변곡점으로서 각각 지정하여 수행되는 것을 특징으로 하는 세일 장애층 크기의 통계적 추정방법.

#### 청구항 4

제1항에 있어서,

상기 (a) 단계는 상기 세일층 협제에 따른 일일 오일 생산량 그래프에서 RF에 따른 SOR 그래프에서 가장 큰 값을 갖는 지점을 최대 SOR(MXS, maximum SOR)으로 지정하고, 가장 작은 값을 갖는 지점을 최소 SOR(MNS, minimum SOR)로 지정하여 수행되는 것을 특징으로 하는 세일 장애층 크기의 통계적 추정방법.

#### 청구항 5

삭제

#### 청구항 6

삭제

#### 청구항 7

삭제

#### 청구항 8

제1항에 있어서,

최대 SOR 및 최소 SOR을 종속변수로 더 포함하는 것을 특징으로 하는 세일 장애층 크기의 통계적 추정방법.

#### 청구항 9

제1항에 있어서,

상기 (c) 단계는 파레토 차트를 이용하여 수행되는 것을 특징으로 하는 세일 장애층 크기의 통계적 추정방법.

#### 청구항 10

제1항에 있어서,

상기 (c) 단계는 ANOVA를 이용하여 수행되는 것을 특징으로 하는 세일 장애층 크기의 통계적 추정방법.

#### 청구항 11

삭제

### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001] 본 발명은 세일 장애층 크기의 통계적 추정방법에 관한 것으로, 좀더 자세하게는, 세일 장애층이 협재된 오일샌드 개발을 용이하게 하기 위해, 오일샌드 지층에 협재된 세일 장애층의 크기를 통계적 방법으로 추정하는 방법에 관한 것이다.

#### 배경 기술

[0002] 오일샌드(oil sand)란 원유를 포함한 다공질 사암으로, 캐나다 중서부의 알버타 주에 매장량을 가지고 있으며, 모래에 석유가 끈적끈적하게 묻어있는 상태의 자원이다.

[0003] 이러한 오일샌드는 수십 미터 아래에 매장되어 있어 채굴이 용이한 편이며, 스팀(steam)을 방출하는 주입정(injection well)과, 주입정에서 방출된 스팀이 오일샌드를 통과하며 유동성이 확보된 오일이 생산정(production well)을 통해 추출되게 된다.

[0004] 그러나, 도 1의 (a)에 도시한 것처럼 저류층의 두께(B)는 20m 정도인 오일샌드(1) 지층에 진흙 등으로 형성된 퇴적암 층이 두께(A) 2m 이내의 세일층(2)이 형성되는 경우, 도 1의 (b)에 도시한 것처럼 주입정(100)과 생산정(200)을 위치시키더라도, 도 1의 (b) 및 도 2에 도시한 것처럼 주입정(100)의 배출공(110)에서 방출된 스팀이 세일층(2)에 막혀 오일샌드를 통과하는 양이 적어지게 되고, 이에 따라 생산정(200)에 유입되는 액체 상태의 오일 생산량은 세일층(2)이 존재하지 않을 때 생산정에 유입되는 오일 생산량보다 줄어든다.

[0005] 따라서, 오일샌드에 협재된 세일층(2)으로부터 떨어진 위치에 주입정 및 생산정을 디자인하여 오일 생산량을 증대시키기 위해서, 세일층(2)의 크기를 추정하는 방법이 필요한 실정이다.

### 선행기술문헌

#### 특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허공보 제2011-0096389호

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0007] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 오일샌드가 매장된 지층에 형성되어 오일샌드로부터 오일 생산 효율을 떨어뜨리는 세일층의 크기를 통계적 방법을 이용하여 효율적으로 추정하기 위한 것이다.

### 과제의 해결 수단

[0008] 본 발명의 한 실시예에 따른 세일 장애층 크기의 통계적 추정방법은 (a) 세일층 협제에 따른 일일 오일 생산량 그래프로부터 생산변곡점을 추출하는 단계; (b) 추출된 상기 생산변곡점으로부터 변수를 설정하는 단계; (c) 설정된 상기 변수를 분석하는 단계; 그리고 (d) 통계학적 방법을 이용하여 세일층의 크기를 추정하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0009] 상기 (a) 단계 내지 상기 (d) 단계는 상기 세일층 협제에 따른 일일 오일 생산량 그래프를 모니터링하는 프로세서에서 수행되며, 상기 (a) 단계는 상기 세일층 협제에 따른 일일 오일 생산량 그래프에서 기울기 형태가 급격하게 변하는 네 개의 생산변곡점을 추출하여 수행되는 것을 특징으로 한다.

[0010] 상기 (a) 단계는 상기 생산변곡점은 상기 세일층 협제에 따른 일일 오일 생산량 그래프에서 x축의 진행방향에 따라 추출된 순서대로 첫 번째 생산변곡점, 두 번째 생산변곡점, 그리고 세 번째 생산변곡점으로서 각각 지정하여 수행되는 것을 특징으로 한다.

[0011] 상기 (a) 단계는 상기 세일층 협제에 따른 일일 오일 생산량 그래프에서 RF에 따른 SOR 그래프에서 가장 큰 값을 갖는 지점을 최대 SOR(MXS, maximum SOR)으로 지정하고, 가장 작은 값을 갖는 지점을 최소 SOR(MNS, minimum SOR)로 지정하여 수행되는 것을 특징으로 한다.

[0012] 상기 (b) 단계에서, 상기 변수는 세일층의 크기 추정을 위한 네 개의 독립변수를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0013] 상기 네 개의 독립변수는 폭(WD, width), 길이(LN, length), 수직적 위치(VL, vertical location), 그리고 두께(TS, thickness)인 것을 특징으로 한다.

[0014] 상기 (b) 단계에서, 상기 변수는 세일층의 크기 추정을 위한 종속변수를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0015] 상기 종속변수는 상기 (a) 단계에서 추출된 생산변곡점, 최대 SOR 및 최소 SOR로부터 각각 파생된 종속변수들을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0016] 상기 (c) 단계는 상기 변수를 파레토 차트를 이용하여 분석하여 수행되는 것을 특징으로 한다.

[0017] 상기 (c) 단계는 상기 변수를 ANOVA를 이용하여 분석하여 수행되는 것을 특징으로 한다.

[0018] 상기 (d) 단계는 반응표면분석법(RSM)을 이용하여 세일층의 폭 및 길이를 예측하는 박스-벤킨법을 설계하여 수행되는 것을 특징으로 한다.

### 발명의 효과

[0019] 이러한 특징에 따르면, 오일샌드 지층에 이미 시추한 수평정(주입정 또는 생산정)들로부터 오일샌드 층의 오일 생산을 저하시키는 세일층의 크기를 통계적 방법을 통해 효율적으로 파악할 수 있어, 오일샌드 개발을 위해 인접 지역에 수평정을 삽입함에 있어, 크기가 파악된 세일층을 피하여 오일샌드 지층에 주입정 및 생산정을 시추하도록 디자인함으로써 오일샌드로부터 생산되는 오일 생산량을 증대시킬 수 있는 효과가 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0020] 도 1은 본 발명의 한 실시예에 따른 세일 장애층 크기의 통계적 추정방법을 설명하기 위해, 세일층이 협제된 오일샌드 저류층을 나타낸 도면이다.

도 2는 본 발명의 한 실시예에 따른 세일 장애층 크기의 통계적 추정방법을 설명하기 위해, 종래의 SAGD 공법을 개략적으로 나타낸 도면이다.

도 3은 본 발명의 한 실시예에 따른 세일 장애층 크기의 통계적 추정방법을 나타낸 흐름도이다.

도 4는 본 발명의 한 실시예에 따른 세일 장애층 크기의 통계적 추정방법에서 사용하는 세일층 협제에 따른 일일 오일 생산량 그래프 및 오일 포화도를 나타낸 3D 단면도이다.

도 5a 내지 도 5f는 본 발명의 한 실시예에 따른 세일 장애층 크기의 통계적 추정방법에서 사용하는 파레토 차트이다.

도 6은 본 발명의 한 실시예에 따른 세일 장애층 크기의 통계적 추정방법에서 사용하는 박스-벤킨법 설계를 나타낸 도면이다.

도 7은 본 발명의 한 실시예에 따른 세일 장애층 크기를 통계적 추정방법으로부터 산출하기 위해 사용되는 반응표면법을 나타낸 일 예이다.

도 8은 본 발명의 한 실시예에 따른 세일 장애층 크기의 통계적 추정방법에서 산출하는 표준 정규확률도를 나타낸 그래프이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0021] 아래에서는 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.
- [0022] 그러면 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 한 실시예에 따른 세일 장애층 크기의 통계적 추정방법을 설명한다.
- [0023] 본 발명의 한 실시예에 따른 세일 장애층 크기의 통계적 추정방법은 도 3에 도시한 것처럼, 세일층 협제에 따른 일일 오일 생산량 그래프로부터 생산변곡점을 추출하는 단계(S100), 추출된 생산변곡점으로부터 변수를 설정하는 단계(S200), 설정된 변수를 분석하는 단계(S300), 그리고 통계학적 방법을 이용하여 세일층의 크기를 추정하는 단계(S400)를 포함한다.
- [0024] 도 3에 도시한 각 단계를 설명하면, 먼저, 첫 번째 단계(S100)인 세일층 협제에 따른 일일 오일 생산량 그래프로부터 생산변곡점을 추출하는 단계(S100)에서는, 도 4에 도시한 것처럼 세일층 협제에 따른 일일 오일 생산량 그래프로부터 세 개의 생산변곡점을 추출하고 SOR 그래프로부터 두 개의 변곡점을 추출한다.
- [0025] 도 4의 그래프는 세일층 협제에 따른 일일 생산량 그래프 및 오일 포화도를 3D 단면으로 나타내고 있고, 각 오일 포화도의 3D 도면은 일일 오일 생산량 그래프의 생산변곡점들 및 SOR 그래프의 변곡점인 최대 SOR, 최소 SOR에 각각 대응된다.
- [0026] 도 4를 참고로 하여 첫 번째 단계를 좀더 자세히 설명하면, 도 4의 그래프와 같이, 세일층 협제에 따른 일일 오일 생산량 그래프는 RF(recovery factor)를 x축으로 갖고 일일 오일 생산량(단위 m<sup>3</sup>/d)과 SOR(Steam Oil Ratio)(m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)을 각각 y축으로 갖는다.
- [0027] 이때, RF에 따른 일일 오일 생산량 그래프는 세 개의 지점에서 각각 생산변곡점을 갖고, 프로세서는 일일 오일 생산량 그래프를 표준 SAGD(steam-assisted gravity drainage) 그래프와 달리 기울기가 갑자기 변하는 세 개의 지점을 생산변곡점으로서 추출한다.
- [0028] 좀더 자세하게는, 프로세서는 도 4와 같이 세일층 협제에 따른 일일 오일 생산량 그래프를 입력받아 모니터링하는 동작 및 이에 따른 처리동작을 수행하는 장치일 수 있고, 바람직하게는, 컴퓨터에 형성될 수 있으며, 처리결과를 모니터에 전달하여 출력할 수 있다.
- [0029] 이때, 프로세서가 입력받는 세일층 협제에 따른 일일 오일 생산량 그래프는 오일샌드지층에 삽입된 주입정에서 출력한 스팀이 오일샌드지층을 투과하여 생산정에 오일이 유입되는 일련의 과정으로부터 형성되는, 즉, 스팀의 우회(detour) 동작에 의해 형성되는 그래프이다.
- [0030] 그리고 이때, 프로세서가 세 개의 생산변곡점을 추출함에 있어서, 프로세서는 추출된 세 개의 생산변곡점을 x축의 진행방향에 따라 추출된 순서대로 첫 번째 생산변곡점, 두 번째 생산변곡점, 그리고 세 번째 생산변곡점으로

서 각각 지정한다.

- [0031] 첫 번째 생산변곡점은 오일 생산량 비율이 약 200 지점에 형성된 피크(peak)점으로서, FPP(first production peak)로 지정되고, 두 번째 생산변곡점은 오일 생산량 비율이 약 150 지점에 형성된 부분으로서 FPT(first production trough)로 지정된다.
- [0032] 그리고, 세 번째 생산변곡점은 오일 생산량 비율이 약 200 지점에 형성된 완만한 부분으로서 SPP(second production peak)로 지정된다.
- [0033] 또한, 프로세서는 RF에 따른 SOR 그래프에서 가장 큰 값을 갖는 변곡점을 최대 SOR(MXS, maximum SOR)으로 지정하고, 가장 작은 값을 갖는 변곡점을 최소 SOR(MNS, minimum SOR)로 지정한다.
- [0034] 이처럼, 프로세서는 세일층 협제에 따른 일일 오일 생산량 그래프로부터 세 개의 생산변곡점을 추출하여 첫 번째 내지 세 번째 생산변곡점으로서 지정하고, SOR 그래프로부터 두 개의 변곡점을 추출하여 첫 번째 단계(S100)를 수행한다.
- [0035] 다시 도 3을 참고로 하여 두 번째 단계를 계속해서 설명하면, 추출된 생산변곡점으로부터 변수를 설정하는 단계(S200)는 첫 번째 단계에서 추출된 세 개의 생산변곡점과 두 개의 변곡점으로부터 독립변수 및 종속변수를 설정한다.
- [0036] 이 단계(S200)에서, 먼저, 프로세서는 세일층의 크기 추정을 위한 네 개의 독립변수(independent variables)를 다음의 표 1과 같이 설정하고, 네 개의 독립변수에 대한 최소값 및 최대값을 각각 설정한다.

표 1

| Variables | Coded symbol | Minimum (-1) | Maximum (+1) |
|-----------|--------------|--------------|--------------|
| WD (m)    | A            | 50           | 90           |
| LN (m)    | B            | 500          | 700          |
| VL (m)    | C            | 10           | 14           |
| TS (m)    | D            | 2            | 6            |

- [0037]
- [0038] 표 1을 참고로 하여 좀더 자세히 설명하면, 프로세서는 세일층의 크기 추정을 위한 네 개의 독립변수로서 폭(WD, width), 길이(LN, length), 수직적 위치(VL, vertical location), 그리고 두께(TS, thickness)를 지정한다.
- [0039] 이때, 폭은 도 1의 (a)를 참고로 하는 세일층(2)에서 가로방향으로 형성된 부분 중 짧은 길이로 형성된 부분에 해당하고, 길이는 도 1의 (a)에서 세일층(2)에서 가로방향으로 형성된 부분 중 긴 부분에 해당한다.
- [0040] 그리고, 수직적 위치는 도 1의 (b)에서 세일층(2)과 주입정(100) 사이의 거리에 해당하고, 두께는 도 1의 (a)에서 A부분에 해당한다.
- [0041] 프로세서는 폭 독립변수에 대한 최소값을 50m로, 최대값을 90m로 설정하고, 길이 독립변수에 대한 최소값을 500m로, 최대값을 700m로 지정하며, 수직적 위치 독립변수에 대한 최소값을 10m, 최대값을 14m로 지정한다.
- [0042] 그리고 이때, 프로세서는 두께 독립변수에 대한 최소값을 2m, 최대값을 6m로 지정한다.
- [0043] 표 1을 참고로 하여 설명한 한 예와 같이, 프로세서는 세일층의 크기 추정을 위한 독립변수를 네 개를 설정하고 그의 범위를 설정하는데, 이때, 프로세서는 각 독립변수의 최소값을 -1로, 최대값을 +1로 설정하여 2-레벨 팩토리얼 디자인(two-level factorial design) 기법을 사용하여 각각의 독립변수의 범위를 설정한다.
- [0044] 그리고, 프로세서는 첫 번째 생산변곡점 내지 세 번째 생산변곡점으로부터 여섯 개의 종속변수(dependent variables)를 생성하고, 두 개의 변곡점인 최대 SOR 및 최소 SOR을 종속변수(dependent variables)로 생성한다.
- [0045] 한 예로써, 프로세서는 첫 번째 생산변곡점(FPP)으로부터 FPP에서의 오일 생산량(OR\_FPP)과 FPP에서의 RF(RF\_FPP)를 생성하고, 두 번째 생산변곡점(FPT)으로부터 FPT에서의 오일 생산량(OR\_FPT)과 FPT에서의 RF(RF\_FPT)를 생성하며, 세 번째 생산변곡점(SPP)으로부터 SPP에서의 오일 생산량(OR\_SPP)과 SPP에서의 RF(RF\_SPP)를 생성한다.

- [0046] 그리고 이때, 프로세서는 최대 SOR(MXS) 및 최소 SOR(MNS)을 각각 종속변수로 생성한다.
- [0047] 이와 같이, 두 번째 단계(S200)에서 프로세서가 생산변곡점들 및 변곡점들로부터 총 8개의 종속변수들을 설정한 다음, 세 번째 단계(S300)에서 프로세서는 설정된 변수들을 분석한다.
- [0048] 한 예에서, 프로세서는 회귀분석 방법을 이용하여 설정된 변수를 분석하되, 파레토 차트 또는 ANOVA(분산분석)을 사용하여 설정된 변수들을 분석할 수 있다.
- [0049] 프로세서가 회귀분석 방법으로 파레토 차트를 이용하는 한 예를 도 5a 내지 도 5f를 참고로 하여 설명하면, 프로세서는 두 번째 단계(S200)에서 설정된 종속변수들(RP\_FPP, OR\_FPT, RF\_FPT, OR\_SPP, MXS, MNS)에 대한 파레토 차트를 생성한다.
- [0050] 이때, 도 5a 내지 도 5f의 파레토 차트에서, x축은 순위(Rank)이고, y축은 효과에 대한 t-value이다.
- [0051] 그리고 이때, 도 5a 내지 도 5f의 파레토 차트에서, 긍정적 효과는 주황색 막대이고, 부정적 효과는 청색 막대이며, A, B, C 및 D는 각각 독립변수인 WD, LN, VL, TS에 해당한다.
- [0052] 한 예에서, 프로세서가 도 5a 내지 도 5f에 도시된 파레토 차트로부터 각 변수들의 t-value 값을 확인하여 해당 변수가 중요한 요인임을 판단함에 있어서, 본페로니 한계값 및 t-value 한계값을 모두 초과하는 독립변수를 중요한 요인으로 판단한다.
- [0053] 도 5a에 도시된 종속변수 RF\_FPP에 대한 파레토 차트를 참고로 하여 자세히 설명하면, 프로세서는 도 5a의 파레토 차트로부터 독립변수 VL이 1순위로 효과에서 높은 t-value 값을 갖는 것으로 확인하고, 이때, VL은 긍정적 효과를 갖는 요인인 것으로 판단한다.
- [0054] 그리고, 프로세서는 도 5b에 도시된 종속변수 OR\_FPT에 대한 파레토 차트로부터, 독립변수 LN, VL 및 WD가 각각 1, 2, 3 순위로 효과에서 높은 t-value 값을 갖는 것을 확인하고, 이때, 독립변수 LN 및 WD는 부정적 효과를 갖는 요인이고, 독립변수 VL은 긍정적 요인인 것으로 판단한다.
- [0055] 또한, 프로세서는 도 5c에 도시된 종속변수 RF\_FPT에 대한 파레토 차트로부터, 독립변수 WD가 1순위로 효과에서 높은 t-value 값을 갖는 것을 확인하고, 이때, 독립변수 WD는 긍정적 효과를 갖는 요인인 것으로 판단한다.
- [0056] 그리고, 프로세서는 도 5d에 도시된 종속변수 OR\_SPP에 대한 파레토 차트로부터, 독립변수 VL, WD 및 AC가 각각 1, 2, 3 순위로 효과에서 높은 t-value 값을 갖는 것을 확인하고, 이때, 독립변수 VL은 긍정적 효과를 갖는 요인이며, 독립변수 WD 및 AC는 부정적 효과를 갖는 요인인 것으로 판단한다.
- [0057] 여기서, 독립변수 AC는 독립변수 WD와 VL의 조합을 의미한다.
- [0058] 또한, 프로세서는 도 5e에 도시된 종속변수 MXS에 대한 파레토 차트로부터, 독립변수 LN, VL, AC 및 WD가 각각 1, 2, 3, 4 순위로 효과에서 높은 t-value 값을 갖는 것을 확인하고, 이때, 독립변수 LN 및 WD는 긍정적 효과를 갖는 요인이며, 독립변수 VL 및 AC는 부정적 효과를 갖는 요인인 것으로 판단한다.
- [0059] 그리고, 프로세서는 도 5f에 도시된 종속변수 MNS에 대한 파레토 차트로부터, 독립변수 LN, VL 및 TS가 각각 1, 2, 3 순위로 효과에서 높은 t-value 값을 갖는 것을 확인하고, 이때, 독립변수 LN은 부정적 효과를 갖는 요인이며, 독립변수 VL 및 TS는 긍정적 효과를 갖는 요인인 것으로 판단한다.
- [0060] 도 5a 내지 도 5f를 참고로 하여 설명한 것처럼, 프로세서는 각 종속변수들에 대한 파레토 차트를 형성하고, 이로부터 독립변수들의 중요 여부를 판단하는 분석을 수행한다.
- [0061] 그리고, 프로세서는 다음의 표 2 내지 표 7과 같이 ANOVA를 이용하여 파레토 차트를 이용하여 수행한 종속변수들의 중요성 판단결과를 검정한다.

표 2

| OR_FPT     |                |    |             |         |              |
|------------|----------------|----|-------------|---------|--------------|
| Source     | Sum of Squares | df | Mean Square | F-Value | Prob > F     |
| Model      | 5445.87        | 3  | 1815.29     | 90.33   | <b>0.000</b> |
| A          | 343.20         | 1  | 343.20      | 17.08   | <b>0.014</b> |
| B          | 3479.28        | 1  | 3479.28     | 173.14  | <b>0.000</b> |
| C          | 1623.39        | 1  | 1623.39     | 80.78   | <b>0.001</b> |
| Residual   | 80.38          | 4  | 20.10       | -       | -            |
| Cor. Total | 5526.25        | 7  | -           | -       | -            |

[0062]

표 3

| RF_FPP     |                |    |             |          |              |
|------------|----------------|----|-------------|----------|--------------|
| Source     | Sum of Squares | df | Mean Square | F-Value  | Prob > F     |
| Model      | 26.17          | 6  | 4.36        | 3708716  | <b>0.000</b> |
| A          | 0.34           | 1  | 0.34        | 291086   | <b>0.001</b> |
| B          | 1.43           | 1  | 1.43        | 1217067  | <b>0.001</b> |
| C          | 23.95          | 1  | 23.95       | 20362724 | <b>0.000</b> |
| D          | 0.18           | 1  | 0.18        | 151333   | <b>0.002</b> |
| AB         | 0.23           | 1  | 0.23        | 193757   | <b>0.001</b> |
| AC         | 0.04           | 1  | 0.04        | 36332    | <b>0.003</b> |
| Residual   | 0.00           | 1  | 0.00        | -        | -            |
| Cor. Total | 26.17          | 7  | -           | -        | -            |

[0063]

표 4

| OR_SPP     |                |    |             |         |              |
|------------|----------------|----|-------------|---------|--------------|
| Source     | Sum of Squares | df | Mean Square | F-Value | Prob > F     |
| Model      | 9909.02        | 3  | 3303.01     | 40.21   | <b>0.002</b> |
| A          | 3725.60        | 1  | 3725.60     | 45.36   | <b>0.003</b> |
| C          | 5226.73        | 1  | 5226.73     | 63.64   | <b>0.001</b> |
| AC         | 956.69         | 1  | 956.69      | 11.65   | <b>0.027</b> |
| Residual   | 328.54         | 4  | 82.13       | -       | -            |
| Cor. Total | 10237.56       | 7  | -           | -       | -            |

[0064]

표 5

| RF_FPT     |                |    |             |         |              |
|------------|----------------|----|-------------|---------|--------------|
| Source     | Sum of Squares | df | Mean Square | F-Value | Prob > F     |
| Model      | 643.28         | 1  | 643.28      | 16.71   | <b>0.006</b> |
| A          | 643.28         | 1  | 643.28      | 16.71   | <b>0.006</b> |
| Residual   | 231.05         | 6  | 38.51       | -       | -            |
| Cor. Total | 874.33         | 7  | -           | -       | -            |

[0065]

표 6

| MXS        |                |    |             |          |              |
|------------|----------------|----|-------------|----------|--------------|
| Source     | Sum of Squares | df | Mean Square | F-Value  | Prob > F     |
| Model      | 35.33          | 6  | 5.89        | 29415.10 | <b>0.004</b> |
| A          | 2.83           | 1  | 2.83        | 14162.22 | <b>0.005</b> |
| B          | 14.78          | 1  | 14.78       | 73832.32 | <b>0.002</b> |
| C          | 9.39           | 1  | 9.39        | 46889.01 | <b>0.003</b> |
| D          | 1.12           | 1  | 1.12        | 5578.44  | <b>0.009</b> |
| AC         | 7.05           | 1  | 7.05        | 35223.74 | <b>0.003</b> |
| AD         | 0.16           | 1  | 0.16        | 804.89   | <b>0.022</b> |
| Residual   | 0.00           | 1  | 0.00        | -        | -            |
| Cor. Total | 35.33          | 7  | -           | -        | -            |

[0066]

표 7

| MNS        |                |    |             |         |              |
|------------|----------------|----|-------------|---------|--------------|
| Source     | Sum of Squares | df | Mean Square | F-Value | Prob > F     |
| Model      | 0.14           | 3  | 0.05        | 50.07   | <b>0.001</b> |
| B          | 0.06           | 1  | 0.06        | 61.92   | <b>0.001</b> |
| C          | 0.05           | 1  | 0.05        | 56.55   | <b>0.002</b> |
| D          | 0.03           | 1  | 0.03        | 31.75   | <b>0.005</b> |
| Residual   | 0.00           | 4  | 0.00        | -       | -            |
| Cor. Total | 0.14           | 7  | -           | -       | -            |

[0067]

[0068]

위의 표 2 내지 표 7에서, 프로세서는 ANOVA 분석방법을 이용하여 F-value의 유의확률을 검증한다.

[0069]

그리고, 한 예에서, 프로세서는 다음 단계(S400)로서 반응표면분석법(RSM, response surface methodology)을 이용하여 WD 및 LN을 예측하기 위한 박스-벤킨(Box-Behnken)법을 설계한다.

[0070]

예로써, 프로세서는 다음의 표 8과 같이 각 독립변수들에 대한 수치 범위를 -1, 0, +1 값으로 구분하고 표 9의 실험 수치를 도 6에 도시한 것처럼 박스-벤킨법 설계에 적용하여 WD 및 LN을 예측한다.

표 8

| Variables | Minimum (-1) | Center-point (0) | Maximum (+1) |
|-----------|--------------|------------------|--------------|
| WD (m)    | 50           | 70               | 90           |
| LN (m)    | 500          | 600              | 700          |
| VL (m)    | 10           | 12               | 14           |
| TS (m)    | 2            | 4                | 6            |

[0071]

표 9

| Run | WD | LN | VL | TS | Run | WD | LN | VL | TS |
|-----|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|
| 1   | -1 | -1 | 0  | 0  | 14  | 0  | 0  | 1  | -1 |
| 2   | -1 | 0  | -1 | 0  | 15  | 0  | 0  | 1  | 1  |
| 3   | -1 | 0  | 0  | -1 | 16  | 0  | 1  | -1 | 0  |
| 4   | -1 | 0  | 0  | 1  | 17  | 0  | 1  | 0  | -1 |
| 5   | -1 | 0  | 1  | 0  | 18  | 0  | 1  | 0  | 1  |
| 6   | -1 | 1  | 0  | 0  | 19  | 0  | 1  | 1  | 0  |
| 7   | 0  | -1 | -1 | 0  | 20  | 1  | -1 | 0  | 0  |
| 8   | 0  | -1 | 0  | -1 | 21  | 1  | 0  | -1 | 0  |
| 9   | 0  | -1 | 0  | 1  | 22  | 1  | 0  | 0  | -1 |
| 10  | 0  | -1 | 1  | 0  | 23  | 1  | 0  | 0  | 1  |
| 11  | 0  | 0  | -1 | -1 | 24  | 1  | 0  | 1  | 0  |
| 12  | 0  | 0  | -1 | 1  | 25  | 1  | 1  | 0  | 0  |
| 13  | 0  | 0  | 0  | 0  |     |    |    |    |    |

[0072]

[0073]

좀더 자세하게는, 프로세서가 박스-벤킨법을 이용하여 WD 및 LN을 예측함에 있어서, 프로세서는 다음의 식 1로부터 선형적 RSM을 산출한다.

[0074]

[식 1]

$$y = \beta_o + \sum_i^k \beta_i x_i + \varepsilon$$

[0075]

[0076]

다른 한 예에서, 프로세서는 다음의 식 2로부터 두 가지 요소의 상호관계에 대한 RSM을 산출한다.

[0077]

[식 2]

$$y = \beta_o + \sum_i^k \beta_i x_i + \sum_{i < j} \sum_{=2}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

[0078]

[0079]

또한, 다른 한 예에서, 프로세서는 다음의 식 3으로부터 이차원의 RSM을 산출한다.

[0080]

[식 3]

$$y = \beta_o + \sum_i^k \beta_i x_i + \sum_{i < j} \sum_{=2}^k \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k \beta_{ij} x_i^2 + \varepsilon$$

[0081]

[0082]

이때, 위의 식 3으로부터 산출된 응답곡면은 도 7에 도시한 형태로 형성될 수 있다.

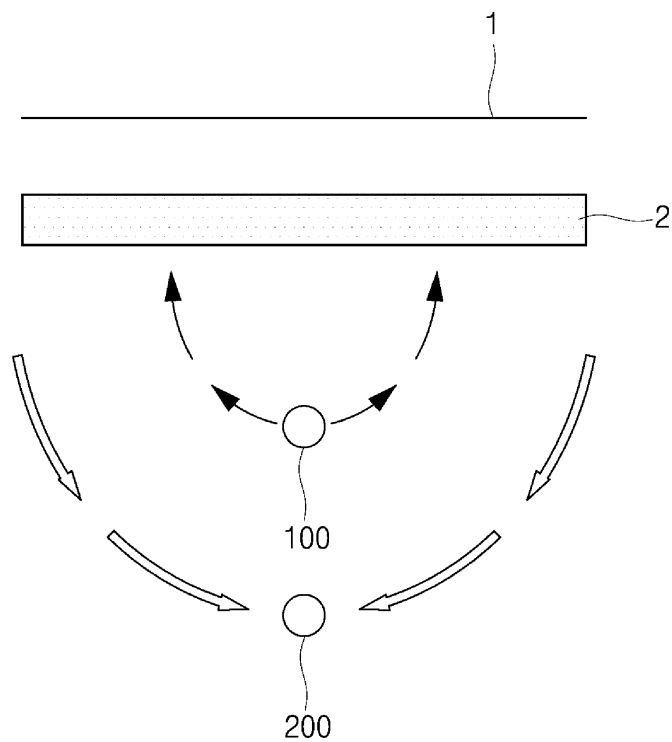
[0083]

이처럼, 프로세서는 네 번째 단계(S400)를 수행함으로써 세일층의 크기 추정에 영향을 주는 변수를 RF\_FPP, OR\_FPT, RF\_FPT, MXS, VL, TS로 선정하고, 세일층의 크기를 나타내는 독립변수인 WD 및 VL를 다음의 식 4와 같이 산출한다.

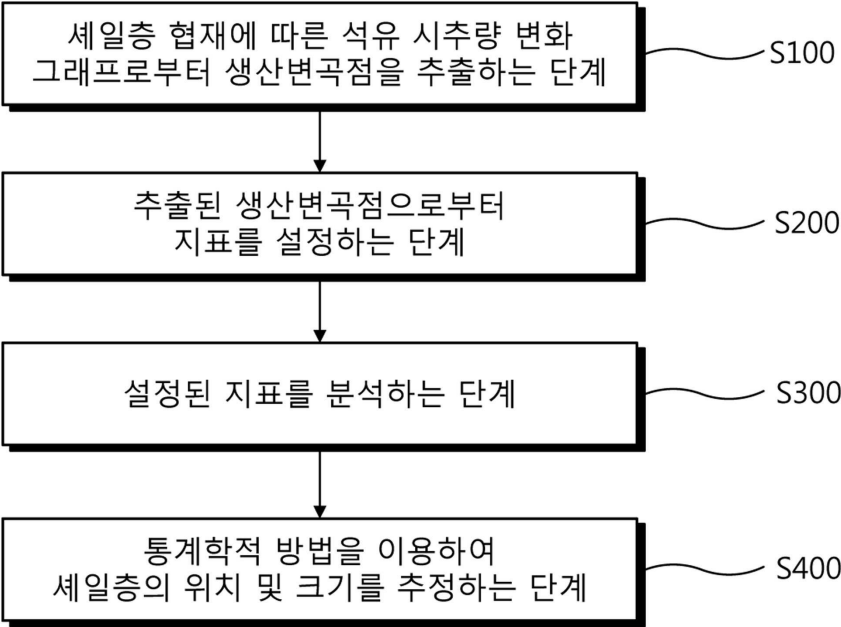




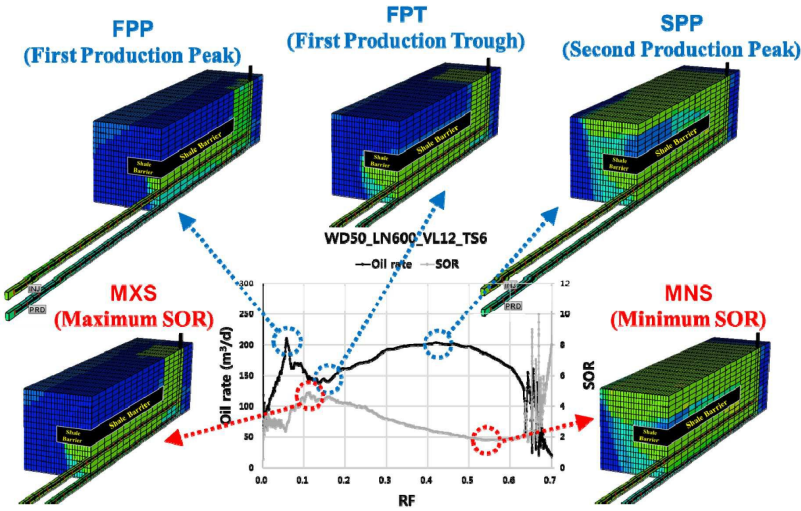
도면2



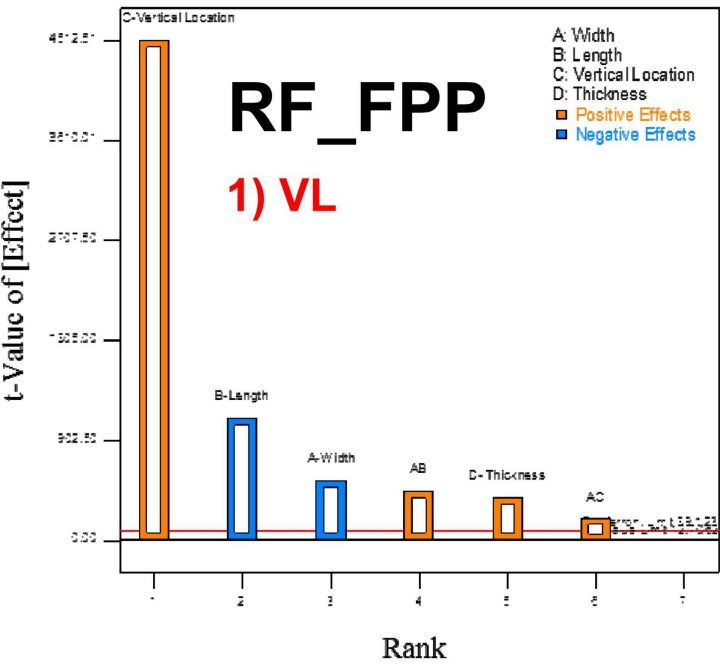
도면3



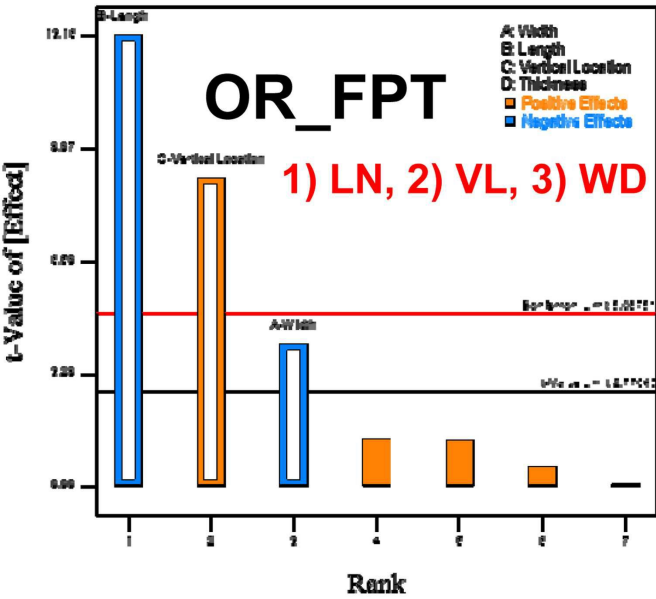
도면4



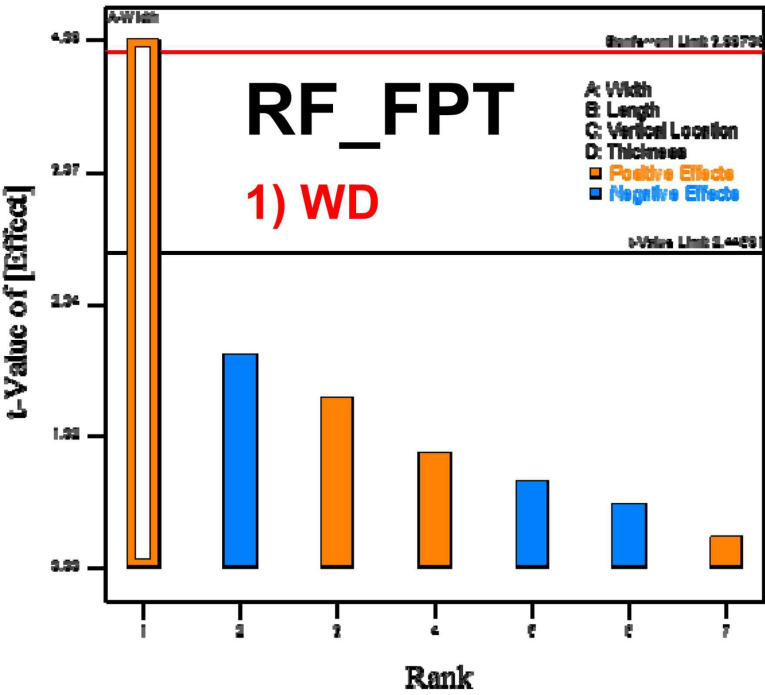
도면5a



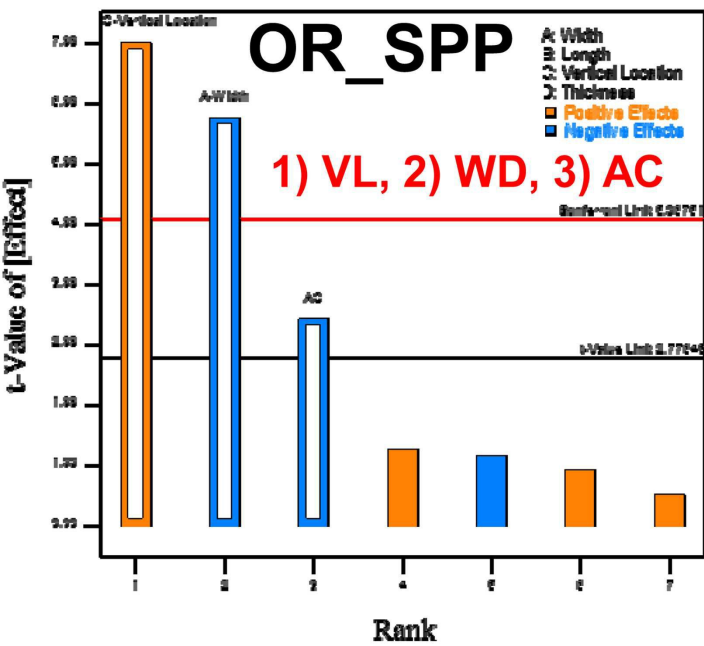
도면5b



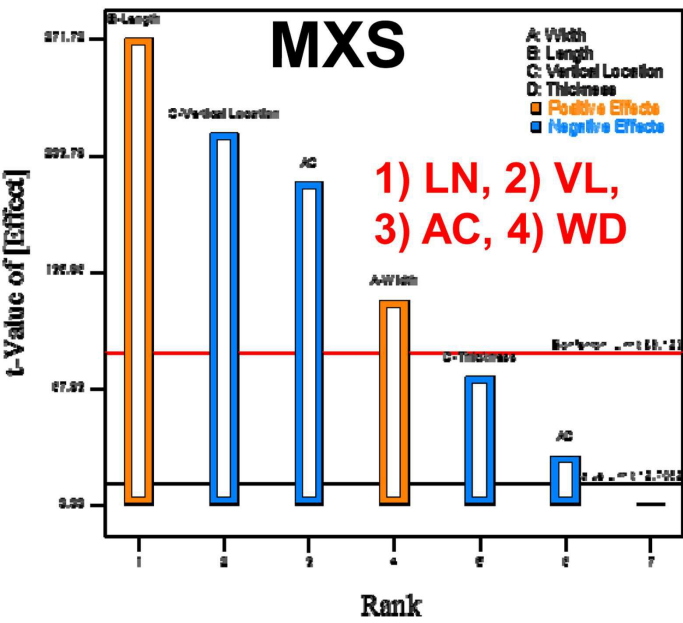
도면5c



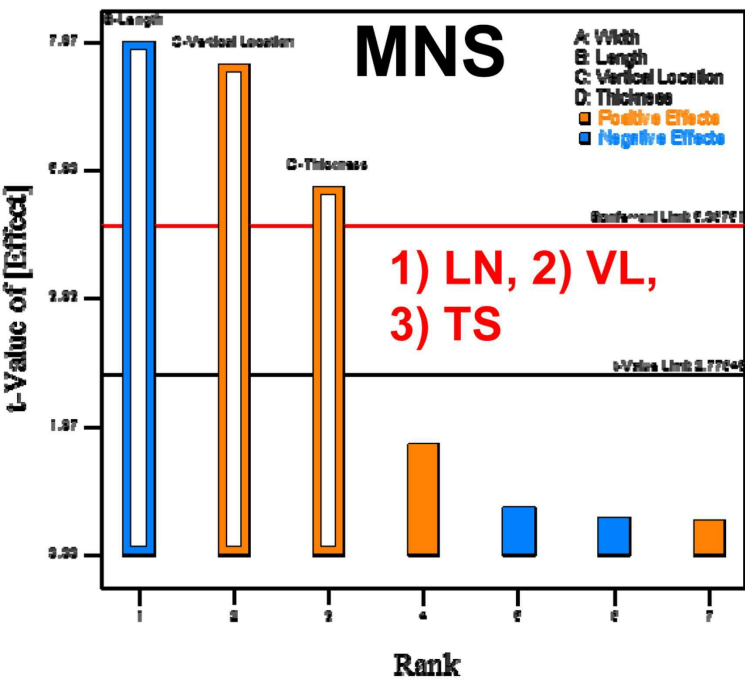
도면5d



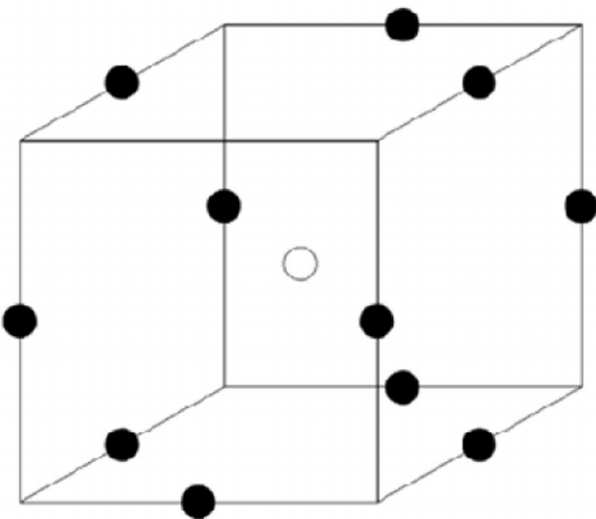
도면5e



도면5f

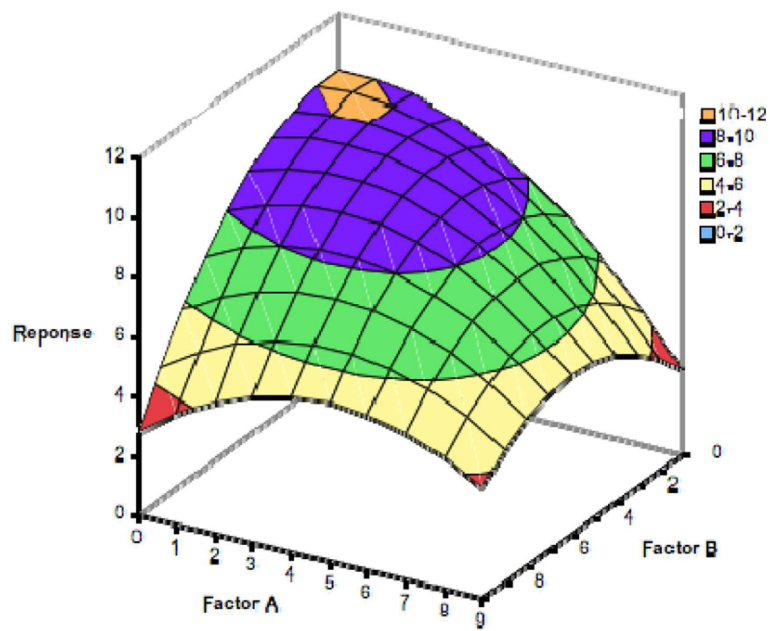


도면6



**Box-Behnken  
design**

도면7



도면8

