(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0033753
(43) 공개일자 2014년03월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
*G06F 19/00* (2011.01) *G06F 9/455* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-0100014
(22) 출원일자 2012년09월10일
심사청구일자 2012년09월10일

(71) 출원인
**경희대학교 산학협력단**
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 국제캠퍼스 내 (서천동, 경희대학교)
(72) 발명자
**유창규**
경기 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 1동 공과대학 (서천동, 경희대학교)
**강은유**
경기 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 공과대학 275호 (서천동, 경희대학교)
(74) 대리인
**임상엽, 이창희, 고영갑, 권정기**

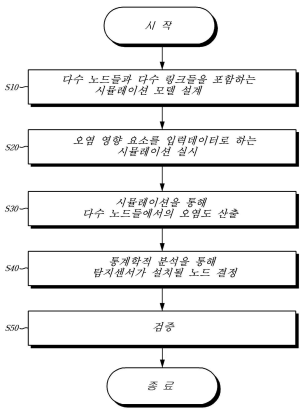
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 **수계내 오염물질 탐지를 위한 센서의 최적 위치 선정 방법**

## (57) 요 약

본 발명은 수계 관리에 있어서, 특히 하수 및 상수를 포함하는 수계내에서 오염물질을 탐지하는 센서가 설치되는 최적 위치를 선정하는 방법에 관한 것으로, 특정 지역의 하수관 네트워크에 대해 유입구와 유출구 사이에 상기 센서의 설치 예정 지점에 해당하는 다수 노드들을 포함하면서 상기 다수 노드들에서 두 노드들을 연결하는 다수 링크들을 포함하는 시뮬레이션 모델을 설계하는 단계와, 상기 하수관 네트워크의 오염에 영향을 주는 적어도 하나의 요소를 입력데이터로 하는 시뮬레이션을 실시하는 단계와, 상기 시뮬레이션 결과로부터 상기 다수 노드들에서의 오염도를 산출하는 단계와, 상기 오염도의 산출 결과에 근거한 통계학적 분석을 통해 상기 센서가 설치될 적어도 하나의 노드를 결정하는 단계를 포함하여 이루어지는 것이 특징인 발명이다.

*대 표 도* - 도2



## *특허청구의 범위*

**청구항 1**

수계내 오염물질 탐지를 위한 센서의 최적 위치 선정 방법에 있어서,

특정 지역의 하수관 네트워크에 대해 유입구와 유출구 사이에 상기 센서의 설치 예정 지점에 해당하는 다수 노드들을 포함하면서 상기 다수 노드들에서 두 노드들을 연결하는 다수 링크들을 포함하는 시뮬레이션 모델을 설계하는 단계;

상기 하수관 네트워크의 오염에 영향을 주는 적어도 하나의 요소를 입력데이터로 하는 시뮬레이션을 실시하는 단계;

상기 시뮬레이션 결과로부터 상기 다수 노드들에서의 오염도를 산출하는 단계;

상기 오염도의 산출 결과에 근거한 통계학적 분석을 통해 상기 센서가 설치될 적어도 하나의 노드를 결정하는 단계를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 수계내 오염물질 탐지를 위한 센서의 최적 위치 선정 방법.

**청구항 2**

제 1 항에 있어서, 상기 시뮬레이션을 실시하는 단계는,

상기 시뮬레이션에서 상기 하수관 네트워크의 유량과 오염물질 농도와 강우 강도 중 적어도 하나를 상기 입력데이터로 사용하는 것을 특징으로 하는 수계내 오염물질 탐지를 위한 센서의 최적 위치 선정 방법.

**청구항 3**

제 2 항에 있어서, 상기 시뮬레이션을 실시하는 단계는,

상기 입력데이터에 포함되는 유량의 변화에 따른 시뮬레이션과, 상기 오염물질 농도의 변화에 따른 시뮬레이션과, 상기 강우 강도의 변화에 따른 시뮬레이션을 각각 적어도 1회 실시하는 것을 특징으로 하는 수계내 오염물질 탐지를 위한 센서의 최적 위치 선정 방법.

**청구항 4**

제 1 항에 있어서, 상기 다수 노드들에서의 오염도를 산출하는 단계는,

생화학적 산소요구량(BOD), 화학적 산소 요구량(COD), 총질소량(total nitrogen), 총인량(total phosphorus)을 포함하는 오염도를 상기 다수 노드들 각각에 대해 산출하는 것을 특징으로 하는 수계내 오염물질 탐지를 위한 센서의 최적 위치 선정 방법.

**청구항 5**

제 1 항에 있어서, 상기 센서가 설치될 적어도 하나의 노드를 결정하는 단계는,

상기 통계학적 분석으로 클러스터 분석과 분산분석 중 적어도 하나를 사용하는 것을 특징으로 하는 수계내 오염물질 탐지를 위한 센서의 최적 위치 선정 방법.

**청구항 6**

제 5 항에 있어서, 상기 센서가 설치될 적어도 하나의 노드를 결정하는 단계는,

상기 클러스터 분석을 사용하여, 상기 오염도의 산출 결과에서 유사도를 갖는 노드들을 동일한 클러스터로 정의하는 단계와,

상기 정의된 클러스터의 개수에 상응하게 상기 센서의 개수를 결정하는 단계와,

상기 결정된 센서의 개수에 상응하게 상기 센서가 설치될 적어도 하나의 노드를 각 클러스터에서 결정하는 단계와,

상기 분산분석을 사용하여 상기 오염도의 산출 결과에서 차이도를 갖는 노드를 상기 센서의 설치 지점으로 더

결정하는 단계로 이루어지는 것을 특징으로 하는 수계내 오염물질 탐지를 위한 센서의 최적 위치 선정 방법.

**청구항 7**

제 6 항에 있어서, 상기 유사도를 갖는 노드들은 상기 오염도의 산출 결과에 대해 오차범위 내의 근사치를 갖는 노드들에 해당하는 것을 특징으로 하는 수계내 오염물질 탐지를 위한 센서의 최적 위치 선정 방법.

**청구항 8**

제 6 항에 있어서,

상기 센서가 설치될 적어도 하나의 노드를 각 클러스터에서 결정하는 시에는 상기 각 클러스터에 속하는 노드들 중에서 상기 유입구의 노드와 상기 유출구의 노드를 상기 센서의 설치 지점으로 결정하고,

상기 분산 분석을 사용할 시에는 상기 각 클러스터에서 상기 유입구의 노드와 상기 유출구의 노드를 제외한 노드들 중 상기 차이도를 갖는 노드를 상기 센서의 설치 지점으로 더 결정하는 것을 특징으로 하는 수계내 오염물질 탐지를 위한 센서의 최적 위치 선정 방법.

# *명 세 서*

## *기 술 분 야*

[0001] 본 발명은 수계 관리에 관한 것으로, 특히 하수 및 상수를 포함하는 수계내에서 오염물질을 탐지하는 센서가 설치되는 최적 위치를 선정하는 방법에 관한 것이다.

## *배 경 기 술*

[0002] 수질 오염원은 오염원의 성격에 따라 점오염원(Point pollutant sources)과 비점오염원(Non-point pollutant sources: NPS)으로 분류된다.

[0003] 점오염원(Point pollutant sources)이란 광장이나 생활하수 등과 같이 고정된 오염원에서 발생되는 오염원으로써, 오염 배출원 위치가 고정되어 있고 배출되는 지점을 명확하게 알 수 있는 오염원이다. 점오염원은 대부분 하수관을 통해 배출되는 오염원이다.

[0004] 비점오염원은 넓은 지역으로부터 빗물 등에 의해 씻겨지면서 배출되어 정확히 어디가 배출원인지 파악하기 어려운 오염원으로써, 농경지, 방목장, 도시의 가로, 산림지, 교외지역 등의 지역으로부터 배출되는 오염원이다. 주로 토양 표면 또는 지표면 가까이 있는 잠재적 오염물질이 빗물에 씻겨 유출수에 포함되어 수계에 유입되는 형태의 오염원이다.

[0005] 점오염원은 배출 지점을 명확하게 파악할 수 있을 뿐만 아니라 하수처리장의 처리를 거쳐 오수를 방류하므로, 공공하천의 수질에 많은 영향을 주지 않는다. 그러나, 하수관에 차집되지 않은 비점오염원의 비중이 높기 때문에, 공공하천의 수질은 개선되지 못하고 있다.

[0006] 이러한 비점오염원에는 도시 지표를 따라 흐르는 과정에서 수반하는 도시의 오염물질 즉, 쓰레기(Trash), 퇴사(Sediments), 중금속(Heavy metals), 독성 화학물질(Cyanide, PCBs, PAHs, 페놀류 등), 비료 및 살충제, 기름류(Oil and Grease) 등을 포함하고 있어서, 공공하천의 수질에 큰 영향을 주고 있다.

[0007] 환경부 자료에 따르면 4대강 비점오염원의 비중도는 1998년에는 21.7%였으나 다가오는 2015년에는 65~70%로 증가할 것으로 전망하고 있다. 따라서, 주요 하천환경의 수질보전을 위해서는 비점오염원에 대한 관리가 철저하게 이루어져야 한다.

[0008] 그에 따라, 하수관(sewers), 지류(branches) 및 분수계(watershed)을 통해 배출되는 비점오염원을 줄이기 위한 많은 노력을 계속되고는 있으나 분수계에서는 여전히 비점오염원에 대한 문제가 계속 발생되고 있다.

[0009] 최근에는 유속(flow rate), 수질(water quality), 침투수와 유입수(Infiltration and Inflow: I/I), 그리고 월류수(Combined Sewer Overflows: CSOs)를 효과적으로 관리하기 위한 방안으로써 지속적인 하수관거 관리 시스템이 개발되었다. 그 시스템은 하수관 네트워크를 구성하여 분수계는 물론 하수관 및 지류에 전반적인 관리를 수행하고 있다.

[0010] 그러나, 국토 개발과 확장에 따른 대규모 인프라 구조의 복잡성으로 인해 하수관 네트워크의 구성이 시시각각

변화하기 때문에, 비점오염원을 탐지하기란 상당히 어려운 실정이다.

[0011] 실제, 하수관거 관리 시스템에서는 체계적이면서 과학적인 비점오염원의 탐지를 위해 탐지센서를 하수관(sewers), 지류(branches) 및 분수계(watershed)와 같이 전체 배출 경로 상에 설치한다. 그러한 탐지센서의 설치를 통해 비점오염원을 탐지하고 분석하고 있다.

[0012] 그러나, 고가 장비인 탐지센서가 수계 특성을 전혀 고려하지 않고 무분별하게 설치됨으로써 비용 낭비의 문제가 있었다.

## *발명의 내용*

### *해결하려는 과제*

[0013] 본 발명의 목적은 상기한 점을 감안하여 안출한 것으로, 특히 하수관거 관리 시스템에서 비점오염원의 탐지 및 분석을 위해 하수관(sewers), 지류(branches) 및 분수계(watershed)와 같이 전체 배출 경로 상에 설치되는 탐지센서의 최적 위치를 선정하는 방법을 제공하는 데 있다.

[0014] 본 발명의 또다른 목적은, 지역별 수계 특성을 고려하면서 수계에 영향을 주는 요소들을 또한 고려하여 하수관거 관리 시스템에 사용되는 탐지센서의 최적 설치 위치를 선정해주는 데 적당한 수계내 오염물질 탐지를 위한 센서의 최적 위치 선정 방법을 제공하는 데 있다.

### *과제의 해결 수단*

[0015] 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 수계내 오염물질 탐지를 위한 센서의 최적 위치 선정 방법의 특징은,

### *발명의 효과*

[0016] 본 발명에 따르면, 지역별 수계 특성을 고려하면서 수계에 영향을 주는 요소들 즉, 하수관 네트워크의 유량(flow rate)과 오염물질 농도(pollutant concentration)와 강우 강도(rainfall intensity)에 기반한 시뮬레이션과 그 시뮬레이션 결과에 대한 통계적 분석을 통해 탐지센서의 최적 설치 위치를 선정해 주기 때문에, 동일한 탐지 결과가 예상되는 노드들에서 탐지센서가 중복 설치되는 경우를 미연에 방지해 준다.

[0017] 또한, 수계내에 설치될 탐지센서의 최적 개수와 최적 설치 위치를 선정해 주기 때문에, 최소 개수의 탐지센서로 최적의 탐지 효율을 발휘하게 해준다. 그로 인해, 고가인 탐지센서를 설치하는데 소요되는 비용을 최소화해 준다.

### *도면의 간단한 설명*

[0018] 도 1은 본 발명에서 런오프(runoff)의 흐름을 설명하기 위한 다이어그램.

도 2는 본 발명에 따른 수계내 오염물질 탐지를 위한 센서의 최적 위치 선정 절차를 나타낸 다이어그램.

도 3은 본 발명의 일 실시 예에서 하수관 네트워크를 구성하는 지역의 지리적 모델을 나타낸 다이어그램.

도 4는 도 3에 도시된 지리적 모델에 기반하여 해당 지역의 관로에 대한 시뮬레이션 모델을 나타낸 다이어그램.

도 5는 본 발명의 일 실시 예에서 시뮬레이션 결과를 나타낸 그래프.

도 6은 본 발명의 일 실시 예에 따른 노드들 간 클러스터 분석 결과를 나타낸 다이어그램들.

### *발명을 실시하기 위한 구체적인 내용*

[0019] 본 발명의 다른 목적, 특징 및 이점들은 첨부한 도면을 참조한 실시 예들의 상세한 설명을 통해 명백해질 것이다.

[0020] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시 예의 구성과 그 작용을 설명하며, 도면에 도시되고 또 이것에 의해서 설명되는 본 발명의 구성과 작용은 적어도 하나의 실시 예로서 설명되는 것이며, 이것에 의해서 상기한 본 발명의 기술적 사상과 그 핵심 구성 및 작용이 제한되지는 않는다.

[0021] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명에 따른 수계내 오염물질 탐지를 위한 센서의 최적 위치 선정 방법의 바람직한 실시 예를 자세히 설명한다.

[0022] 도 1은 본 발명에서 런오프(runoff)의 흐름을 설명하기 위한 다이어그램이다.

[0023] 도 1을 참조하면, 유입구(Inflow)를 통해 유입되는 수량에 강우(Rainfall)가 더해지면서 침투량(Infiltration)이 감해지면, 유출구(Outflow)를 통해 유출되는 량을 산출한다.

*수학식 1*

[0024] $$\frac{d\forall}{dt} = A_s \frac{dd}{dt} = A_s i - Q$$

*수학식 2*

[0025] $$Q = W \cdot \frac{1}{n} (d - d_p)^{\frac{5}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

*수학식 3*

[0026] $$\frac{\Delta d}{\Delta t} = i - \frac{W}{A_s \cdot n} (d - d_p)^{\frac{5}{3}} S^{\frac{1}{2}} = i + R \cdot (d - d_p)^{\frac{5}{3}}$$

*수학식 4*

[0027] $$R = \frac{W \cdot S^{\frac{1}{2}}}{A_s \cdot n}$$

[0028] 수학식1 내지 4에서 ∀는 하수량, $t$는 시간(초), $A_s$는 하수의 표면적(집수폭(유역폭)과 배수길이로부터 산출), d 는 수위(water level), i 는 초과 강우 강도(m/s), Q 는 과잉량(outflow: $m^3/s$), W는 집수폭(m), n은 조도계수(coefficient of roughness), $d_p$는 표면저류깊이(depth of surface detention storage: m), S는 소유역 경사(slope of subcatchment: m/m), R은 집수폭과 경사와 조도 계수와 수로 특성에 따라 변하는 수로 특성 요소로 구성되는 변수이다.

[0029] 초과 강우 강도는 유입량과 평균 유량으로 나타내지며 유입구에서 유량과 유출구에서 유량의 평균으로 산출된다.

[0030] 한편, 수학식3은 다음의 수학식5의 비선형 대수방정식으로 변환된다.

*수학식 5*

[0031] $$\frac{d_{n+1}-d_n}{\Delta t} = i + R \cdot \left(d_n + \frac{(d_{n+1}-d_n)}{2} - d_p\right)^{\frac{5}{3}}$$

[0032] 수학식5는 Newton-Raphson법을 이용하여 풀어지며, 이는 시간당 수심으로부터 유량을 구하기 위한 것이다. 한편, 표면상 유출량은 시간의 초기상태와 표면저류 총량으로 해석된다. 이는 강우량으로부터 발생된 유출량은 보다 낮은 위치의 분수계(watershed)에서 발생되는 것으로 가정하고, 또한 유량(flow rate)은 다른 분수계로 방류되지 않는 것으로 가정한다.

[0033] 관로를 통한 방류량은 표면상 유출량을 계산하는 방식과 동일하게 산출된다. 매닝법(Manning method)는 적분을 수행하는 각 단계에서 사용된다. 관로의 방류량에 사용되는 저류 총량은 다음의 수학식 6의 매닝 평균유속식(Manning's mean velocity formula)으로 구해진다.

*수학식 6*

[0034] $$\Delta \forall = \Delta t(Q_i + Q_w + Q_{GW} - Q)$$

[0035] 수학식6에서 Q는 총 방류량, $Q_i$는 상류 로부터 유입되는 유입량, $Q_w$는 집수(유역)의 측부로부터 유입되는 유입량, $Q_{GW}$는 지하에서 유입되는 유입량이다.

[0036] 집수로부터 오염물질을 방류하는 과정은 오염물질이 누적되는 과정과 강우로 인해 오염물질이 유출되는 런오프(runoff) 과정으로 구분된다.

[0037] 오염물질이 누적되는 과정은 강우 패턴, 강우량, 강우 강도, 이전 건조일 수, 대지 사용, 바람, 지리적 지질적 특성, 배수 시스템 구조 등과 같이 자연적인 조건과 인위적인 조건에 영향을 받는다.

[0038] 그러나, 본 발명에서는 표 1에 주어진 수학식을 이용하여 오염물질의 누적량을 계산한다.

*표 1*

[0039]

| type | equation |
|---|---|
| Build-up(빌드업) | $PSHED = QFACT(3) \quad t_a^{QFACT(2)}$<br>$PSHED_QFACT(1)$<br>$PSHED = QFACT(1) \quad (1 - e^{QFACT(2)t_a})$<br>$PSHED = \frac{QFACT(1 \quad t_a)}{QFACT(3) + t_a}$ |
| Wash-off(와쉬오프) | $-POFF(t_r) = -RCOEF \quad r^{WASHPO} \quad PSHED$<br>$POFF(t_r) = RCOEF \quad WELOW^{WASHPO}$ |

[0040] 표 1의 식들에서 PSHED는 누적량(kg/ha), QFACT(1)은 누적 한계(kg/ha), QFACT(2)은 누적속도, QFACT(3)은 누적 계수, $t_a$는 이전 건조일 수(day), $t_r$은 강우 후 경과시간, POFF는 누적 런오프량(kg), WASHPO는 런오프 파워(Power of runoff rate), RCOEF는 와쉬오프 계수($mm^{-1}$), WELOW는 표면상 유출량($m^3/s$)이다.

[0041] 본 발명에서 사용되는 통계학적 분석은 분산분석(ANOVA)과 클러스터 분석을 이용하여 수행된다. 분산분석은 시

스템에서 탐지센서의 설치가 필요한지를 판단하기 위한 것이고, 클러스터 분석은 하수관로의 노드들에서 오염물질 방출량의 분포를 산출하기 위한 것이다.

[0042] 클러스터 분석은 유사도와 차이도에 근거하여 클러스터들 간의 특성과 상대성을 확인하기 위한 것이다.

[0043] 본 발명에서는 노드들 간의 유사도를 측정하기 위해, 유클리드 차이법(Euclidian distance method)이 사용된다. 클러스터들 간의 차이도가 보다 근사하면, 유사도는 보다 높은 것이다.

[0044] $X_i$와 $X_j$가의 유클리드 차이는 다음의 수학식7에 의해 계산된다.

*수학식 7*

[0045]
$$d_{ij} = d(X_i, X_j) = \left[ \sum_{k=0}^{p} |X_{ik} - X_{jk}|^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

[0046] 수학식7에서 $X_i=[X_{i1},X_{i2},\ldots,X_{ip}]^T$와 $X_j=[X_{j1},X_{j2},\ldots,X_{jk}]^T$는 P-차원에서의 관찰 벡터들이다.

[0047] 본 발명에서 각 노드에서 구해진 총 오염물질 방출량은 적분연산을 통해 산출된다. 그에 따라, 탐지센서의 설치 위치에 대한 정보가 구해진다.

[0048] 도 2는 본 발명에 따른 수계내 오염물질 탐지를 위한 센서의 최적 위치 선정 절차를 나타낸 다이어그램이다.

[0049] 도 2를 참조하면, 특정 지역을 목표 지역으로 정한 후에는 그 지역의 하수관 네트워크에 대한 시뮬레이션 모델을 설계한다(S10).

[0050] 도 3은 본 발명의 일 실시 예에서 하수관 네트워크를 구성하는 지역의 지리적 모델을 나타낸 다이어그램으로, 시뮬레이션 모델을 설계하기 위한 목표 지역에 대해 하수관 네트워크를 나타낸 것이다.

[0051] 도 4는 도 3에 도시된 지리적 모델에 기반하여 해당 지역의 관로에 대한 시뮬레이션 모델을 나타낸 다이어그램이며, 도 4에 도시된 바와 같이, 시뮬레이션 모델은 유입구와 유출구 사이에 탐지센서의 설치 예정 지점에 해당하는 다수 노드들(MHA1~MHA7, MHB1~MHB3)을 포함하며, 또한 다수 노드들에서 두 노드들을 연결하는 다수 링크들(LA1~LA6, LB1~LB3)을 포함한다.

[0052] 도 4에는 10개의 노드들과 9개의 링크를 포함하는 시뮬레이션 모델을 나타낸 것으로, 노드들 중 MHA1과 MHB1이 인입 노드(유입구 노드)에 해당하고, MHA7이 인출 노드(유출구 노드)에 해당한다.

[0053] 이어, 시뮬레이션 모델에 기반하면서 하수관 네트워크의 오염에 영향을 주는 적어도 하나의 요소를 입력데이터로 하는 시뮬레이션을 실시한다(S20). 여기서, 시뮬레이션은 적어도 1회 실시하는 것이 바람직하다.

[0054] 본 발명에서 시뮬레이션에 사용되는 입력데이터는 하수관 네트워크의 유량과 오염물질 농도와 강우 강도 중 적어도 하나를 포함한다.

[0055] 표 2는 본 발명에서 실시되는 시뮬레이션을 3회 실시하는 예를 나타낸 것으로, 유량과 오염물질 농도와 강우 강도를 입력데이터로 사용한 예이다. 특히, 표 2에서는 유량의 변화에 따른 시뮬레이션과 오염물질 농도의 변화에 따른 시뮬레이션과 강우 강도의 변화에 따른 시뮬레이션을 다수 실시한 예이다.

[0056] 표 2는 MHB1에서 고정 유량이 0.1$m^3$/s을 BOD로 30ppm, COD로 50ppm, TN으로 5ppm, 그리고 TP로 0.5ppm을 갖는 하수에 대해 6시간 동안의 시뮬레이션 예이다.

*표 2*

[0057]

| 시뮬레이션 순서(Run Order) | No. | 강우강도 | 오염물질 농도 | 유량 |
|---|---|---|---|---|
| Case 1<br>-강우 강도의 변화에 따른 시뮬레이션 | 1-1 | 100% | 100% | 100% |
| | 1-2 | 100% | 100% | 100% |
| | 1-3 | 100% | 100% | 100% |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Case 2<br>-오염물질 농도의 변화에 따른 시뮬레이션 | 2-1 | 100% | 50% | 100% |
| | 2-2 | 100% | 100% | 100% |
| | 2-3 | 100% | 150% | 100% |
| Case 3<br>-유량 변화에 따른 시뮬레이션 | 3-1 | 100% | 100% | 50% |
| | 3-2 | 100% | 100% | 100% |
| | 3-3 | 100% | 100% | 150% |

[0058] 어, 전술된 3가지 경우의 시뮬레이션을 실시한 결과로부터 다수 노드들에서의 오염도(BOD, COD, TN, TP)를 산출한다(S30).

[0059] 도 5는 본 발명의 일 실시 예에서 시뮬레이션 결과를 나타낸 그래프로써, 표 2에 근거하여 MHB1에서 시간 경과에 따른 유량(Flow rate)의 변화 및 오염물질 농도를 나타낸 그래프이다. 즉, MHB1에서 산출되는 오염도로써 생화학적 산소요구량(BOD), 화학적 산소 요구량(COD), 총질소량(total nitrogen: TN), 총인량(total phosphorus: TP)을 나타낸 그래프로써, BOD 농도와 COD 농도와 TN 농도와 TP 농도를 나타내고 있다.

[0060] 도 5에서는 약 1.75시간이 경과한 시점에서 최고 오염도를 보이고 있다.

[0061] 상세하게, 생화학적 산소요구량(BOD), 화학적 산소 요구량(COD), 총질소량(TN), 총인량(TP)을 포함하는 오염도를 다수 노드들 각각에 대해 산출 한다.

[0062] 이어, 오염도의 산출 결과에 근거한 통계학적 분석을 통해 탐지센서가 설치될 적어도 하나의 노드를 결정한다(S40).

[0063] 이하에서는 탐지센서의 개수 및 설치 지점을 결정하는 절차에 대해 보다 상세한다.

[0064] 탐지센서가 설치될 노드를 결정하기 위한 통계학적 분석으로는 클러스터 분석과 분산분석을 사용한다.

[0065] 통계학적 분석 중 클러스터 분석을 사용하여 오염도의 산출 결과에서 유사도를 갖는 노드들을 동일한 클러스터로 정의한다.

[0066] 클러스터 분석을 통해 유사도를 갖는 노드들을 동일한 클러스터로 정의함에 따라, 정의된 클러스터 개수에 상응하게 설치될 탐지센서의 개수가 결정된다. 이는 각 클러스터에서 탐지센서가 설치될 노드를 적어도 하나 선정함에 따른 것이다.

[0067] 일 예로써, 임의의 클러스터에 속하는 노드들은 유사도를 갖는 노드들로써, 오염도의 산출 결과에 대해 오차범위 내의 근사치를 갖는 노드들에 해당한다.

[0068] 이와 같이, 클러스터 분석으로 통해 유사도를 갖는 노드들을 동일한 클러스터로 정의함에 따라, 정의된 클러스터의 개수에 상응하게 탐지센서의 개수를 산정한다.

[0069] 이어, 분산분석(ANOVA)을 통해 각 클러스터에 속하는 적어도 하나의 노드를 탐지센서의 설치 지점으로 결정한다. 바람직하게는, 각 클러스터에서 하나의 노드를 탐지센서의 설치 지점으로 선정한다.

[0070] 그러나, 결정된 3개의 클러스터 각각에는 탐지센서의 설치 지점으로 통상 선정되는 노드들이 포함되어 있으므로, 각 노드들에서 오염도의 차이도(Distance)에 따라 인입 노드(유입구 노드)와 인출 노드(유출구 노드)을 제외한 노드들에 더 탐지센서가 설치되어야 하는지에 대한 과정이 요구된다.

[0071] 도 6은 본 발명의 일 실시 예에 따른 노드들 간 클러스터 분석 결과를 나타낸 다이어그램들이다.

[0072] 도 6에서는 고유한 번호가 부여된 노드들에서 생화학적 산소요구량(BOD), 화학적 산소 요구량(COD), 총질소량(TN), 총인량(TP)에 대한 차이도(Distance)를 나타낸 것이다.

[0073] 도 6에서 1에서 7까지는 MHA1에서 MHA7까지의 번호를 나타내고, 8에서 10까지는 MHB1에서 MHB3까지의 번호를 나타낸다.

[0074] 도 6의 예에서는 모든 오염도를 고려할 때 유사도를 갖는 3개의 클러스터들(C1, C2, C3)이 정의되며, C1은 MHA1과 MHA2와 MHA3과 MHA4를 포함하고, C2는 MHA5와 MHA6과 MHA7을 포함하고, C3는 MHB1과 MHB2와 MHB3을 포함한다.

[0075] 한편, 상기에서 클러스터 분석에서 언급된 유사도는 오염도의 운송도와 유체학적 특성(hydrodynamics

characteristics)이 오차범위 내에서 유사함을 의미한다.

[0076] 전술했듯이, 클러스터의 개수는 설치될 탐지센서의 개수에 상응하므로, 도 6의 예에서는 3개의 탐지센서가 설치된다.

[0077] 클러스터 C1에는 인입 노드(유입구 노드)에 해당하는 MHA1이 속해 있으며, 클러스터 C2에는 인출 노드(유출구 노드)에 해당하는 MHA7이 속해 있으며, 클러스터 C3에는 인입 노드(유입구 노드)에 해당하는 MHB1이 속해 있다.

[0078] 따라서, 클러스터 개수에 상응하게 인입 노드인 MHA1과 MHB1를 2개의 탐지센서 설치 지점으로 선정하고, 인출 노드인 MHA7를 1개의 탐지센서 설치 지점으로 선정할 수 있다. 그러면서, 그들 3 노드들이 인입 노드(유입구 노드)와 인출 노드(유출구 노드)인 점을 감안할 때, 해당 클러스터에서 노드들 간의 오염도에 대한 차이가 없으면, 탐지센서의 설치 개수 및 설치 지점에 대한 절차를 종료할 수 있다.

[0079] 그러나, 인입 노드(유입구 노드)와 인출 노드(유출구 노드)을 제외한 노드들에서 오염도에 대한 현저한 차이가 있다면, 이하에서 설명된 바와 같이 탐지센서가 설치되어야 할 노드를 더 추가한다.

[0080] 통계학적 분석으로써 클러스터 분석 이후에 분산분석(ANOVA)을 더 이용하며, 클러스터 분석에 의해 정해진 개수의 탐지센서를 분산분석을 통해 설치 위치(설치 노드)를 결정한다. 이하에서 분산분석을 통한 탐지센서 설치 지점의 선정 과정을 설명한다.

[0081] 표 3은 표 2에서 강우 강도의 변화에 따른 시뮬레이션(Case1)의 데이터를 사용하여 노드들 간에 현저한 차이도(significant difference)가 있는지를 검사한 결과를 나타낸 것이다. 이와 같이, 클러스터 분석을 통해 탐지센서의 개수가 설정되고 또한 각 클러스터들에서 잠정적인 센서의 설치 지점에 선정된다 하더라도, 분산분석은 표 3의 차이도와 같은 추가적인 정보를 제공한다.

[0082] 아래 표 3에 보인 바와 같이, 강우 강도의 변화에 의한 시뮬레이션 결과에 따라 MHA5에서 현저한 차이도가 있음을 확인할 수 있다. 그러나 표 3에서는 강우 강도의 변화에 따른 시뮬레이션 결과만을 나타낸다. 표 3에서 Total은 하수관의 오염물질의 총량이고, Node는 해당 노드에서 운송되는 즉, 해당 노드를 통과하는 오염물질의 량을 나타낸다.

*표 3*

[0083]

| Case1 | | N1 | N2 | N3 | N4 | N5 | N6 | N7 | N8 | N9 | N10 | Significant difference |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Total | BOD | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | O |
| Total | COD | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | O |
| Total | TN | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | O |
| Total | TP | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | O |
| Node | BOD | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | X |
| Node | COD | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | X |
| Node | TN | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | X |
| Node | TP | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | X |

[0084] 그러한 차이도는 표 2의 3가지 경우 즉, 강우 강도 변화와 오염물질 농도의 변화와 유량 변화에 대해 하수관의 오염물질의 총량(BOD, COD, TN, TP)과 해당 노드에서 운송되는 오염물질 량(BOD, COD, TN, TP)을 포함하는 8개 요소들 간의 다수 시뮬레이션 결과로부터 산출된다.

[0085] 이러한 차이도가 있는 MHA5가 탐지센서가 설치될 지점으로 더 선정한다.

[0086] 정리하면, 본 발명에서는 시뮬레이션 결과로부터 클러스터 분석을 통해 1차적으로 탐지센서의 설치 개수를 선정하며, 이어 분산 분석으로 통해 각 클러스터에서 설치 노드를 결정하되, 인입 노드(유입구 노드)와 인출 노드(유출구 노드)를 1차 탐지센서 설치 지점으로 선정하고, 이어 인입 노드와 인출 노드를 제외한 노드들에서 오염도에 대한 현저한 차이도를 더 고려하여 2차 설치 노드를 더 선정한다.

[0087] 즉, 클러스터 C1에 속하는 MHA1과 MHA2와 MHA3과 MHA4에서는 상호 오염도의 차이가 없으므로 인입 노드인 MHA1만을 탐지센서의 설치 지점으로 선정하고, 클러스터 C2에 속하는 MHA5와 MHA6과 MHA7에서는 인출 노드인 MHA7를 탐지센서의 설치 지점으로 선정하면서 표 3의 차이도가 현저한 MHA5를 탐지센서의 설치 지점으로 더 선정한다. 또한, 클러스터 C3에 속하는 MHB1과 MHB2와 MHB3에서는 상호 오염도의 차이가 없으므로 인입 노드인 MHB1만을 탐지센서의 설치 지점으로 선정한다.

[0088] 본 발명에서는 이와 같이, 클러스터 분석을 통해 탐지센서의 설치 개수를 결정한 이후에 분산 분석을 통해 탐지센서의 설치 지점을 결정하되, 각 노드에서의 오염도의 차이가 있는 노드가 인입 노드나 인출 노드와 일치되지 않는 경우에는 해당 노드를 탐지센서의 설치 지점으로 더 선택한다.

[0089] 최종적으로 전술된 바에 의하면, 클러스터 C1에서는 MHA1, 클러스터 C2에서는 MHA5와 MHA7, 그리고 클러스터 C3에서는 MHB1을 탐지센서 설치 지점으로 선정한다.

[0090] 상기와 같이 탐지센서의 설치 개수와 설치 지점이 최종 결정된 이후에는 검증 과정을 거친다(S50). 이 검증 과정은 인입 노드(유입구 노드)와 인출 노드(유출구 노드)임에 따른 일반적인 탐지센서 설치 지점에 해당하는 MHA1과 MHA7과 MHB1을 제외한 MHA5에 대한 검증을 거친다.

[0091] 검증 과정은 탐지 센서의 설치 지점으로 결정된 노드의 유효성을 확인하기 위한 것으로, 본 발명에서는 검증을 위해 제2형 오류(Type II error)를 적용하며, 그 제2형 오류에 필요한 임계치 β를 설정한다.

[0092] 다음의 표 4는 전술된 표 2의 3가지 경우에서 각 노드들에 대한 제2형 오류의 수치들을 나타낸 것으로, 표 4에서는 3가지 경우 모두에서 MHA5 노드가 가장 작은 오류 값을 보인다.

[0093] 이와 같이 MHA1과 MHA7과 MHB1을 설치 지점으로 결정한 것을 제외하고, MHA5에서 제2형 오류의 β값이 모두 노드들 중에서 가장 낮은 수치이므로, MHA5가 탐지센서의 설치 지점으로 적당하다는 것이 검증된다.

*표 4*

[0094]

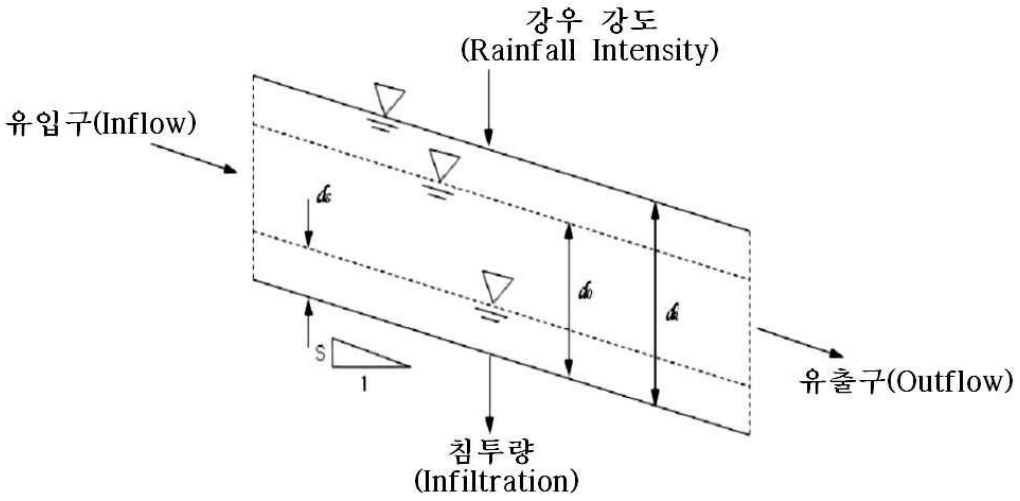
| β | Case 1 | Case 2 | Case 3 |
|---|---|---|---|
| MHA1 | $4.27 \times 10^{-188}$ | $6.68 \times 10^{-105}$ | $6.23 \times 10^{-101}$ |
| MHA2 | $7.58 \times 10^{-192}$ | $9.37 \times 10^{-107}$ | $1.12 \times 10^{-102}$ |
| MHA3 | $7.64 \times 10^{-219}$ | $2.31 \times 10^{-124}$ | $2.26 \times 10^{-121}$ |
| MHA4 | $7.64 \times 10^{-219}$ | $2.31 \times 10^{-124}$ | $2.26 \times 10^{-121}$ |
| MHA5 | $3.70 \times 10^{-243}$ | $7.40 \times 10^{-141}$ | $3.56 \times 10^{-136}$ |
| MHA6 | $5.29 \times 10^{-219}$ | $1.08 \times 10^{-124}$ | $3.05 \times 10^{-120}$ |
| MHA7 | $1.59 \times 10^{-150}$ | $1.33 \times 10^{-74}$ | $1.19 \times 10^{-71}$ |
| MHB1 | $6.41 \times 10^{-180}$ | $2.22 \times 10^{-101}$ | $2.23 \times 10^{-97}$ |
| MHB2 | $6.41 \times 10^{-180}$ | $2.22 \times 10^{-101}$ | $2.23 \times 10^{-97}$ |
| MHB3 | $7.97 \times 10^{-179}$ | $3.90 \times 10^{-101}$ | $3.85 \times 10^{-97}$ |

[0095] 지금까지 본 발명의 바람직한 실시 예에 대해 설명하였으나, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 본질적인 특성을 벗어나지 않는 범위 내에서 변형된 형태로 구현할 수 있을 것이다.

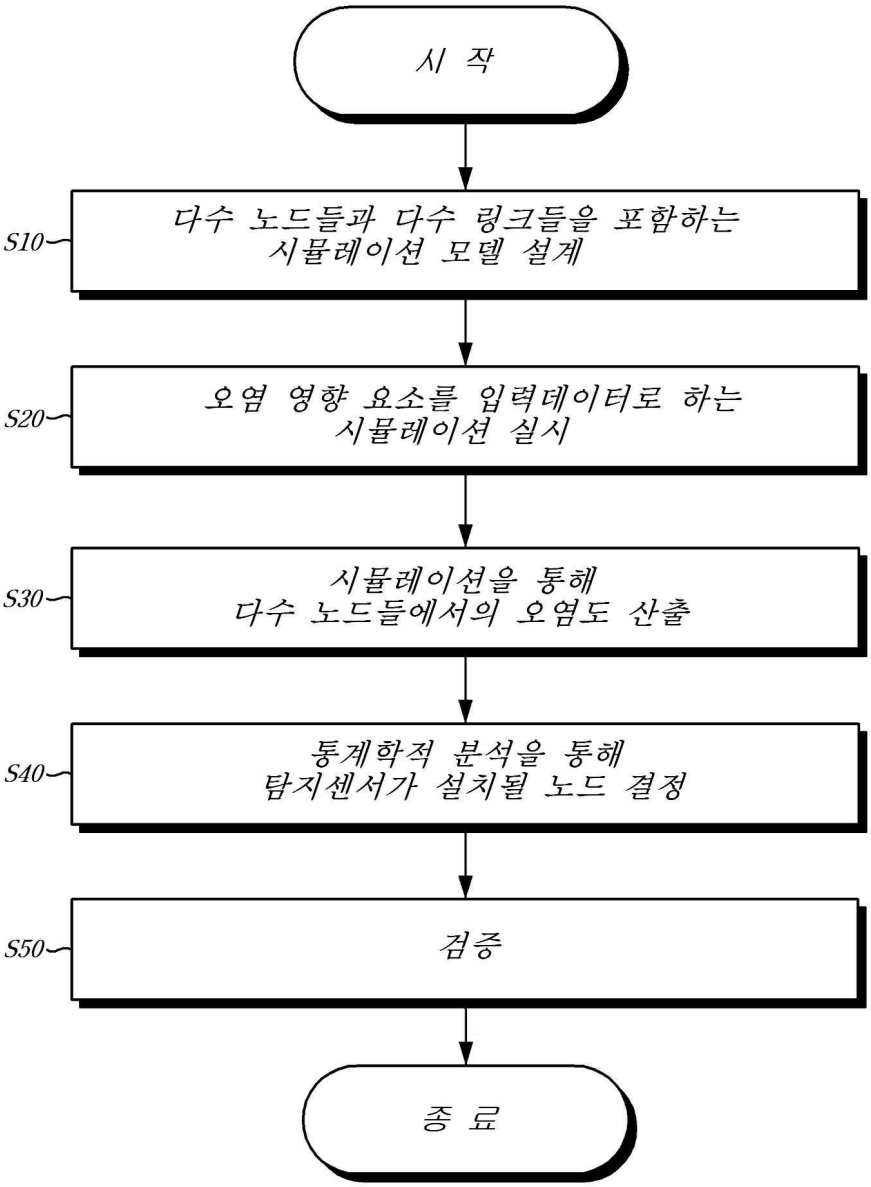
[0096] 그러므로 여기서 설명한 본 발명의 실시 예는 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 하고, 본 발명의 범위는 상술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

도면

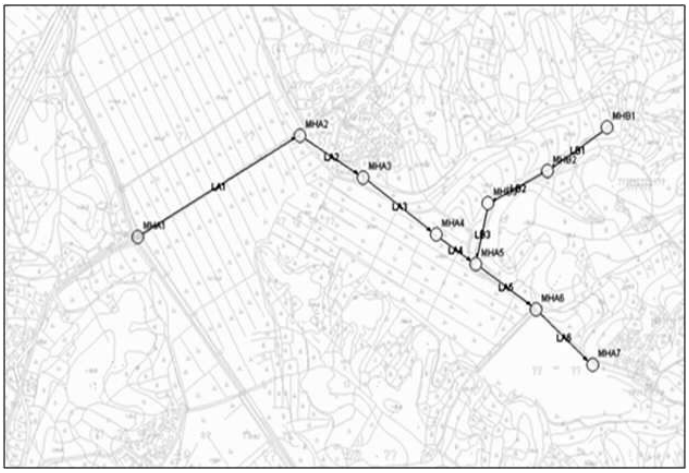
도면1


강우 강도
(Rainfall Intensity)
유입구(Inflow)
S
1
유출구(Outflow)
침투량
(Infiltration)

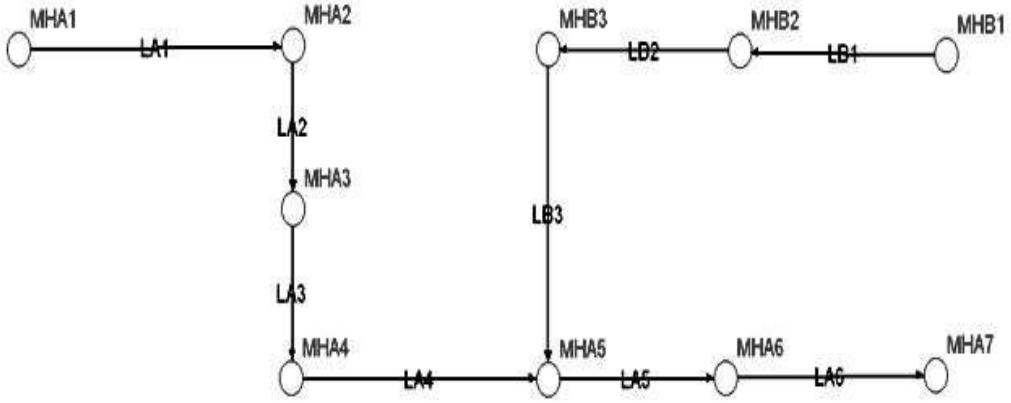
도면2


시 작
S10
다수 노드들과 다수 링크들을 포함하는 시뮬레이션 모델 설계
S20
오염 영향 요소를 입력데이터로 하는 시뮬레이션 실시
S30
시뮬레이션을 통해 다수 노드들에서의 오염도 산출
S40
통계학적 분석을 통해 탐지센서가 설치될 노드 결정
S50
검증
종 료

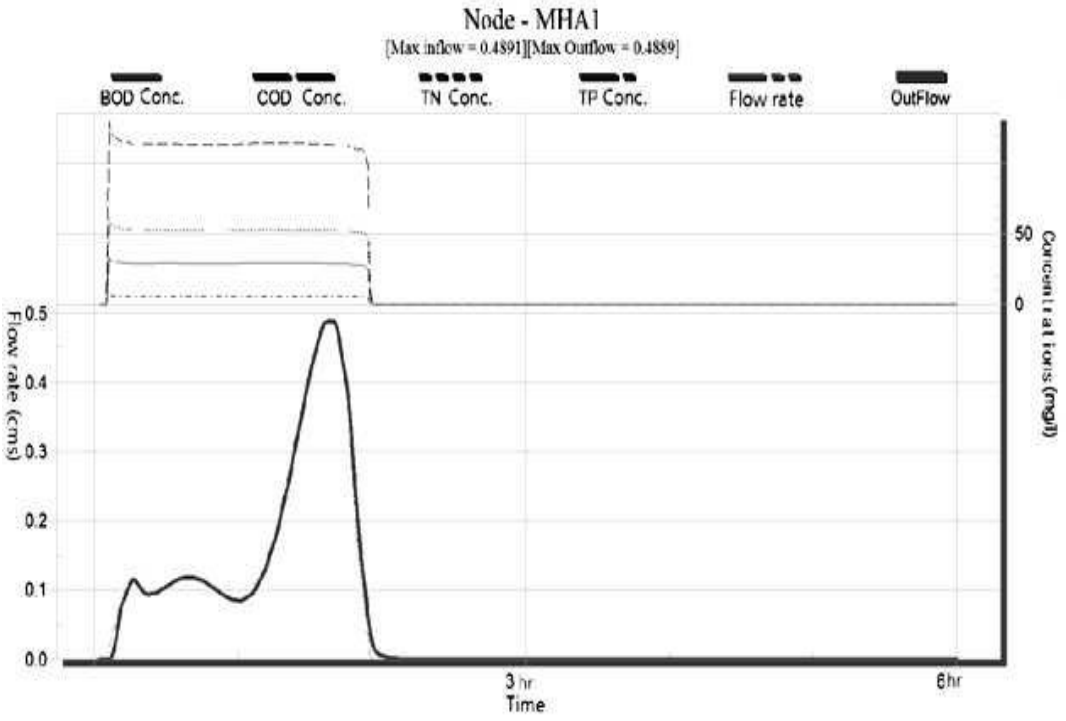
도면3



도면4


MHA1
LA1
MHA2
LA2
MHA3
LA3
MHA4
LA4
MHA5
LA5
MHA6
LA6
MHA7
MHB3
LB2
MHB2
LB1
MHB1
LB3

도면5


Node - MHA1
[Max inflow = 0.4891][Max Outflow = 0.4859]
BOD Conc.
COD Conc.
TN Conc.
TP Conc.
Flow rate
OutFlow
Flow rate (cms)
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
50
0
3 hr
Time
6hr

도면6

