

[공개발표]

3차원 공간기반 다중 전력케이블 라우팅 최적화에 관한 연구

A Study on the Optimization of Multiple Power Cable Routing Based on 3D Space

송실대학교 대학원 경영학과

발 표 자 : OM전공 조원출

지도 교수 : 안태호 교수님

발 표 일 : 2019. 10. 2

제 1 장 서론

- 1.1 연구 배경 및 목적
- 1.2 연구 내용
- 1.3 연구 방법 및 범위
- 1.4 연구 구성

제 2 장 문헌연구

- 2.1 전력케이블 라우팅 설계 특성 고찰
- 2.2 최단경로문제의 알고리즘 분류
- 2.3 전력케이블 라우팅 문제의 해법
- 2.4 연구 동향

제 3 장 문제 정의

- 3.1 문제 가정
- 3.2 문제 수식

제 4 장 알고리즘

- 4.1 해의 영역
- 4.2 최적화 기법
- 4.3 휴리스틱 기법

제 5 장 모의실험 결과

- 5.1 모의실험 조건
- 5.2 실험 및 평가

제 6 장 결론

- 6.1 연구 결과
- 6.2 연구의 시사점
- 6.3 연구의 한계 및 향후 연구과제

제 1 장 서론

1.1 연구 배경 및 목적

1.2 연구 내용

1.3 연구 방법 및 범위

1.4 연구 구성

제 2 장 문헌연구

제 3 장 문제의 모형

제 4 장 알고리즘

제 5 장 모의실험 결과

제 6 장 결론

1

1.1 연구 배경 및 목적

- 전력산업 해외 진출 및 국내기술의 우수성 확인

2007년~ 프랑스 국제핵융합실험로(ITER) 건설관리용역 수주(2000억 규모)

- ITER : International Thermonuclear Experimental Reactor (500MW)

2009년~ UAE 원전(1400MW) 4기 수출



* 사진출처: www.yna.co.kr 연합뉴스 19.09.26



* 사진출처: www.msn.co.kr msn뉴스 18.12.28

제 1장 서론

1.1 연구 배경 및 목적

- 전력산업 해외 진출 및 국내기술의 우수성 확인

2019년 8월 한국신형원전(APR1400), 미) NRC의
최종설계인증 취득 (미국 노형 외 최초)

- 해상풍력 등 신재생에너지 사업 잠재력

해상풍력 자원 잠재량은 최소경제성 기준 33.2GW
정부는 2030년까지 이 중 13GW를 사업화할 계획



* 사진출처: www.zdnet.co.kr
• NRC : Nuclear Regulatory Commission
미국 원자력규제위원회



* 사진출처: DB Financial Investment 2019



* 사진출처: <https://www.ewestoday.co.kr/news>

<유럽해상풍력단지>

1.1 연구 배경 및 목적

- 하지만, 전력산업의 최적화 분야는 연구가 미흡한 실정
- 송전선로에 대한 지리적 환경 조건하의 최적화 연구 실적은 있지만,
- 특히 발전소내 전력계통의 케이블 및 트레이 라우팅 최적화에 대한 학계 및 산업계의 연구 실적은 찾아 보기 어려움



* 사진 출처: <https://atomic.snu.ac.kr/index.php/원전건물배치>

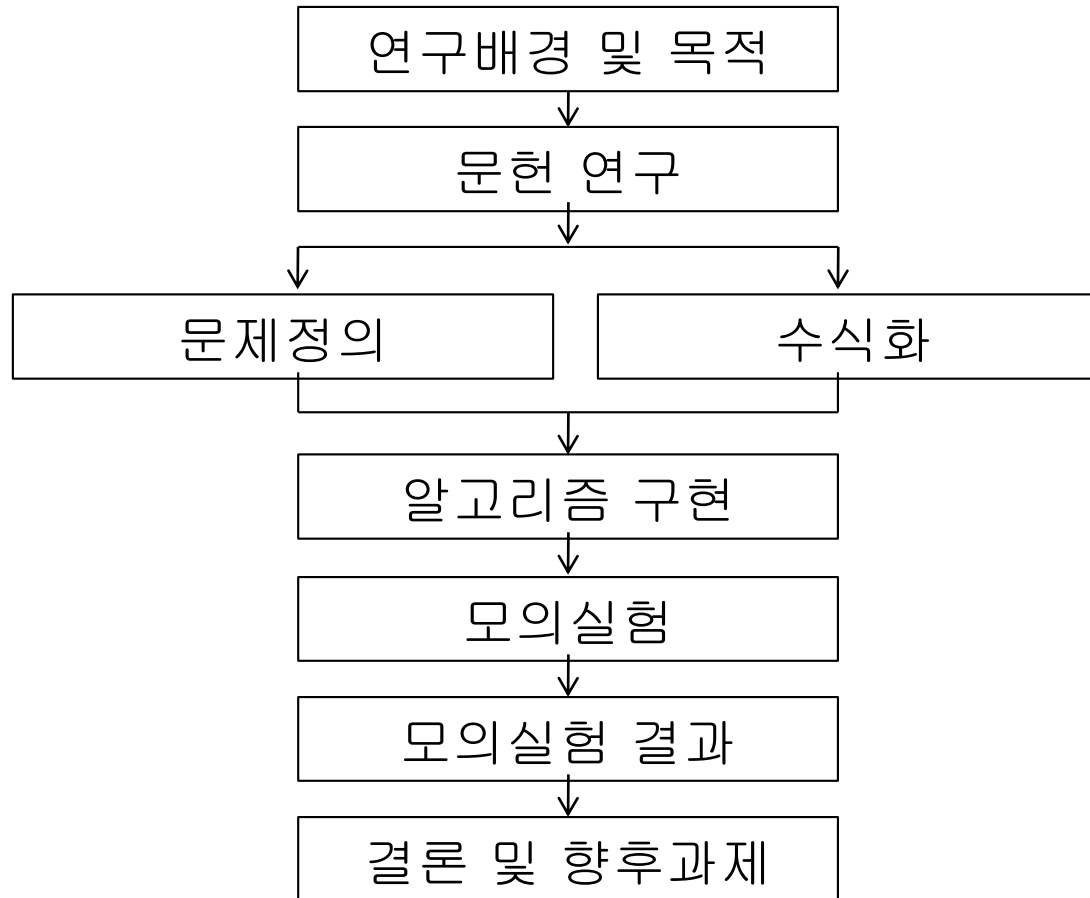


* 사진 출처: <https://m.blog.naver.com/PostView.nhn>

1.2 연구 내용

- 전력계통의 설계 특성 고찰
- 전력케이블 설계 및 환경조건을 단순화하여 문제 정의
- 다중 전력케이블 및 트레이의 최소비용 조건 경로 최적화
- 최적화 문제의 수식화 및 알고리즘 개발
- 모의실험 및 결과

1.3 연구 방법 및 범위



1.3 연구 방법 및 범위

- 발전소 건물내 다중 전력케이블 및 트레이 경로 최적화 문제
- 국내외 전력설비 케이블 경로 연구문헌 고찰
- 케이블 및 트레이 경로 최적화 기법
- 케이블 및 트레이 경로 휴리스틱 기법
- 모의실험을 통한 휴리스틱 효용성 입증

1.4 논문 구성

- 1장 서론 : 연구배경 및 목적, 연구 방법 제시
- 2장 문헌 연구 : 전원 설계기준 및 경로 최적화 기법 선행연구 고찰
- 3장 문제의 모형 : 경로 최적화 문제의 정의와 수식화
- 4장 알고리즘 : 케이블 트레이 최적화 알고리즘 개발 및 코딩
- 5장 모의 실험 : 실험결과를 통해 본 해법의 품질과 성능 평가
- 6장 결론 : 결과요약, 시사점, 한계 및 향후 연구과제 제시

제 1 장 서론

제 2 장 문헌 연구

제 3 장 문제의 모형

제 4 장 알고리즘

제 5 장 모의실험 결과

제 6 장 결론

2.1 전력케이블 라우팅 설계 특성 고찰

2.2 최단경로문제의 분류

2.3 전력케이블 라우팅 문제의 해법

2.4 연구 동향

2

2.1 전력케이블 라우팅 설계 특성 고찰

■ 전원 설계 기술기준

기술기준	기술내용
KEPIC ENB 6410 (IEEE 690)	• 전기1급 케이블 계통 설계
KEPIC ENB 6420 (IEEE 628)	• 전기1급 전선로 계통 설계
KEPIC END 3820 (IEEE 628)	• 전기1급 케이블 계통 검증
KEPIC ENE 2100 (IEEE 690)	• 전기1급 케이블 계통 설치
KEPIC ENE 2200 (IEEE 628)	• 전기1급 전선로 계통 설치

KEPIC : Korea Electric Power Industry Code, 전력산업기술기준
IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers, 전기전자기술자협회

2.1 전력케이블 라우팅 설계 특성 고찰

- 발전소내 케이블 및 트레이 설계 및 시공 [신한울 1,2호기 사례]

- ✓ 케이블 길이 :

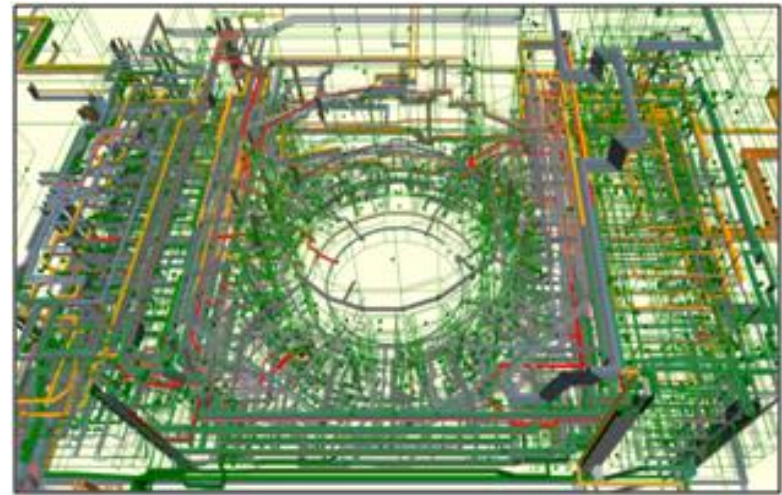
- 약 27,000,000 feet [약 8,229km]

- ✓ 케이블 트레이 길이 :

- 약 356,000 feet [약 108km]

- ✓ 전선관 길이 :

- ✓ 약 3,180,000 feet [약 969km]



* 사진출처: 이건호 외 2015

[케이블 트레이 경로 3D 구성도]

2.2 최단경로 문제의 알고리즘 분류

- 탐색 대상 범위에 따른 분류
 - ✓ 최적화 기법 : 모든 가능해를 열거, 최적해
 - 분지한계법, 분지절단법 등
 - ✓ 휴리스틱 기법 : 문제의 특성에 맞게 개발, 최적해의 근사해
 - 유전알고리즘, 개미군집최적화 등
- 탐색 대상 수량에 따른 분류
 - ✓ 단일출발지 최단경로문제 : Bellman-Ford 알고리즘 등
 - ✓ 단일쌍 최단경로문제 : Floyd 알고리즘 등
 - ✓ 모든쌍 최단경로 문제 : Floyd-Warshall 알고리즘 등

2.2 최단경로 문제의 알고리즘 분류

- 탐색 대상 접근성에 따른 분류
 - ✓ 온라인 탐색 : 사전 경로정보 없이 로봇이 실시간으로 탐색
 - ✓ 오프라인 탐색 : 사전 경로정보를 갖고 계획 수립
- 탐색 기법에 따른 분류
 - ✓ 선형계획법 : 정수계획법, 심플렉스 등
 - ✓ 네트워크 기법 : 노드와 아크로 구성된 그래프 이론 활용

2.2 최단경로 문제의 알고리즘 분류 : 기타 적용문제 유형

- 차량경로문제(Vehicle Routing Problem, VRP)
- 외판원문제(Traveling Salesman Problem, TSP)
- 우체부문제(Postman Problem)
- 복수외판원문제(M-Traveling Salesman Problem)
- 단일 차고 복수차량문제(Single Depot. Multiple Vehicle Routing Problem)

2.3 전력케이블 라우팅 문제의 해법

- 유전알고리즘(Genetic Algorithm) 적용
 - ✓ 자연계의 진화과정을 모방한 최적화 기법
 - ✓ Ma (2006)는 케이블 최적배치에 유전알고리즘의 구조적 방법 제안
- 클러스터링 알고리즘(Clustering Algorithm) 적용
 - ✓ 비슷한 개체끼리 군집화하여 해를 구함
 - ✓ 주어진 데이터를 k개로 묶어 각 클러스터와 거리 차이의 분산을 최소화하는 "k 평균 군집화"와, 비슷한 군집끼리 묶어가며 최종적으로 하나의 군집으로 묶는 "계층적 군집화"로 구분
 - ✓ Dutta(2011)는 대규모 풍력발전소이 케이블 배치에 적용

2.3 전력케이블 라우팅 문제의 해법

- 개미군집최적화(Ant Colony Optimization) 적용
 - ✓ 먹이를 수집하고 저장소로 움직이는 개미의 특성을 이용
 - ✓ Costa(2002)는 발전소 용량 제약조건에 따른 경로비용 최적화에 활용
- 진화알고리즘(Evolutionary Algorithm) 적용
 - ✓ 생물학에서 진화를 본뜬 메커니즘을 사용
 - ✓ 유전알고리즘도 진화알고리즘의 일종
 - ✓ Katsumata(2002)는 발전소 케이블 경로에 적용

2.3 전력케이블 라우팅 문제의 해법

- 타부검색기법(Tabu search) 적용
 - ✓ 인간의 기억과정을 모방한 메타 휴리스틱으로 과정의 탐색정보를 기억하여 해의 이동을 제한하거나 방향을 결정
 - ✓ Pereira Junior(2014)는 변전소의 구성과 케이블 교체 등에 적용
- 혼합정수계획법(Mixed Integer Programming) 적용
 - ✓ 일부 변수가 정수이어야 하는 조건의 선형계획법
 - ✓ Fischetti(2018)는 해상 풍력발전에서 터빈간 케이블 연결 최적화에 적용

2.4 연구 동향

■ 전력케이블 경로 최적화 연구 동향

연구자	연구내용
David (1994)	✓ Bulk Cable Routing Using Genetic Algorithms ✓ 많은 수의 케이블의 경로방법을 유전자 알고리즘으로 여러 케이블 경로를 최적화
Costa (2002)	✓ 발전소 케이블 레이아웃 최적화 문제를 정수 최소비용 다중흐름문제의 특별한 경우 ✓ 이웃탐색 메타휴리스틱을 개선한 알고리즘 제안
Katsumate (2002)	✓ 발전소의 전기설비 구성 문제를 타부검색(Tabu-search)을 이용한 베이지안(Bayesian) 최적화 알고리즘을 제안
Fang (2017)	✓ 풍력 터빈의 운전조건에 동적 상관관계의 특성을 고려한 k-meas 클러스터 알고리즘 제안
Pischetti (2018)	✓ 풍력발전소의 케이블 및 설치비용을 최소화하기 위해 혼합정수선형계획 프로그래밍 접근법을 사용하여 라우팅을 최적화

제 1 장 서론

제 2 장 문헌 연구

제 3 장 문제의 모형

3.1 문제의 가정

3.2 문제의 수식

제 4 장 알고리즘

제 5 장 모의실험 결과

제 6 장 결론

3

제 3장 문제 정의

3.1 문제 가정

- 각 케이블은 하나의 시작 노드와 종료 노드를 갖는다.
- 시작 노드에서 출발하는 케이블의 수는 하나 이상일 수 있으나,
- 종료 노드에 도착하는 케이블의 수는 오직 하나
- 탐색 노드에서 다음 노드 이동시 3차원 축 방향에 있는 인접 노드로 제한
- 각 케이블의 경로는 시작 노드에서 종료 노드에 이르는 인접한 노드들의 집합
- 모든 케이블은 케이블을 지탱할 수 있는 트레이에 설치되어야 하며,
- 하나의 트레이가 지탱할 수 있는 케이블의 수는 미리 지정

3.1 문제 가정

- 케이블별로 단위길이 당 케이블 비용은 다를 수 있으며, 미리 지정
- 트레이의 설치비용은 단위길이 당 동일
- 케이블 과 트레이 단면적간 제약사항은 고려하지 않음

3.2 문제 수식

- 목적함수

$$\checkmark \text{ Min } \sum_{ij} \sum_c \text{cable_cost}_c \times d_{ij} \times x_{ijc} + \sum_{ij} \text{tray_cost} \times d_{ij} \times y_{ij}$$

- 제약식

$$\checkmark \sum_j x_{s_c, j, c} = 1 \quad \forall c$$

$$\checkmark \sum_i x_{i, t_c, c} = 1 \quad \forall c$$

$$\checkmark \sum_j x_{ijc} - \sum_j x_{jic} = 0 \quad \forall i, c, i \neq s_c, i \neq t_c$$

$$\checkmark y_{ij} = \text{Ceil} \left[\frac{\sum_c x_{ijc}}{T_Max} \right] \quad \forall i, j$$

3.2 문제 수식

■ 변수 및 상수

- ✓ C 케이블의 수
- ✓ c 케이블 인덱스, $c = 1, 2, 3, \dots, C$
- ✓ T_Max 하나의 트레이에 설치되는 최대 케이블의 수
- ✓ s_c 케이블 c 의 시작 노드
- ✓ t_c 케이블 c 의 종료 노드
- ✓ d_{ij} 아크 ij 의 길이

3.2 문제 수식

■ 변수 및 상수

- ✓ x_{ijc} 케이블 c 의 경로에 아크 ij 가 포함되는가를 나타내는 변수
- ✓ $x_{ijc} = \begin{cases} 1, & \text{케이블 } c \text{ 경로에 아크 } ij \text{가 포함되는 경우} \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$
- ✓ y_{ij} 아크 ij 에 필요한 트레이의 수; $\text{Ceil} \left[\frac{\sum_c x_{ijc}}{T_{Max}} \right]$
- ✓ cable_cost_c 케이블 c 의 단위길이 당 설치비용
- ✓ tray_cost_c 트레이의 단위길이 당 설치비용

3.2 문제 수식

- 의사결정변수

- ✓ 각 케이블의 경로를 구성하는 아크를 결정하는 x_{ijc}

- 종속변수

- ✓ 아크별 필요한 트레이의 수는 $\sum_c x_{ijc}$ 에 따라 결정되는 y_{ij}

- 제약식

- ✓ $\sum_j x_{s_c, j, c} = 1 \quad \forall c$

- 케이블 c 의 시작 노드에서 출발하는 아크 중 오직 하나의 아크만 선택

- ✓ $\sum_i x_{i, t_c, c} = 1 \quad \forall c$

- 케이블 c 의 종료 노드에서 도착하는 아크 중 오직 하나의 아크만 선택

3.2 문제 수식

■ 제약식

$$\checkmark \sum_j x_{ijc} - \sum_j x_{jic} = 0 \quad \forall i, c, i \neq s_c, i \neq t_c$$

- 시작 또는 종료 노드를 제외한 일반적인 노드에 관한 제약조건

$$\checkmark y_{ij} = \text{Ceil} \left[\frac{\sum_c x_{ijc}}{T_{Max}} \right] \quad \forall i, j$$

- 트레이의 수
- $\text{Ceil}(x)$ 는 x 이거나 x 보다 큰 정수 중 가장 작은 정수를 반환하는 함수
 - ❖ $\text{Ceil}(3.2)$ 이면 3.2보다 같거나 큰 정수 중 가장 작은 정수 = 4

3.2 문제 수식

■ 목적함수

- ✓ $\text{Min } \sum_{ij} \sum_c \text{cable_cost}_c \times d_{ij} \times x_{ijc} + \sum_{ij} \text{tray_cost} \times d_{ij} \times y_{ij}$
 - 케이블과 트레이 비용 합계의 최소화
 - 케이블 c 의 총 길이는 선택된 아크 길이의 합
 - 케이블 c 의 케이블 비용 합계는 케이블 c 단위비용에 케이블 c 의 경로 길이 $\sum_{ij} d_{ij} \times x_{ijc}$ 를 곱한 값
 - 전체 케이블 비용은 $\sum_{ij} \sum_c \text{cable_cost}_c \times d_{ij} \times x_{ijc}$
 - 트레이 총 비용은 트레이 총 길이 $\sum_{ij} d_{ij} \times y_{ij}$ 에 트레이 단위비용의 곱

제 4장 알고리즘

제 1 장 서론

제 2 장 문헌 연구

제 3 장 문제의 모형

제 4 장 알고리즘

제 5 장 모의실험 결과

제 6 장 결론

4.1 해의 영역

4.2 최적화 기법

4.3 휴리스틱 기법

4

4.1 해의 영역

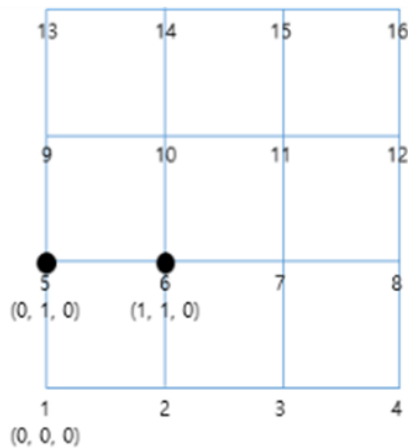
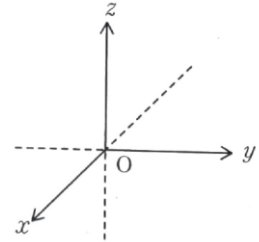
■ 해의 구성

- ✓ 각 케이블 c 별, 각 아크 ij 별 선정 여부를 나타내는 0,1 변수 x_{ijc}
- ✓ 아크별 필요한 트레이 수를 나타내는 비음의 정수 변수 y_{ij}
- ✓ x_{ijc} 는 아크의 수 * 케이블의 수
- ✓ y_{ij} 는 아크의 수와 동일

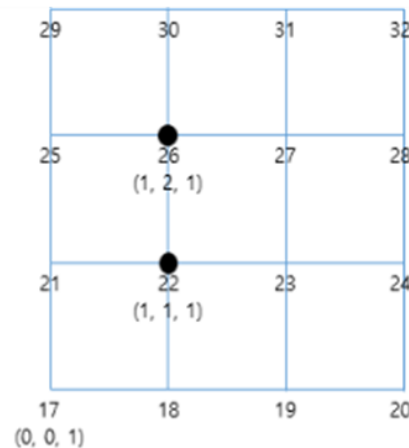
제 4장 알고리즘

4.1 해의 영역

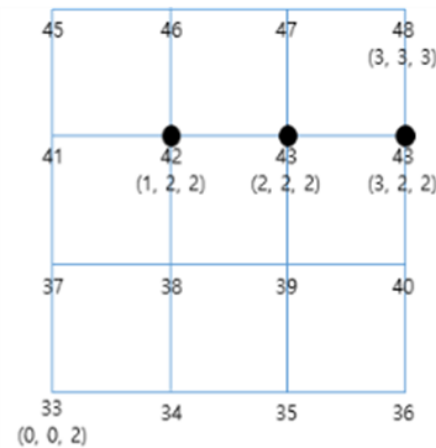
- 문제의 아크는 케이블을 설치하는 공간에 존재
- 공간내의 노드(Node)를 가로, 세로와 높이로 표시
- 현 탐색 노드에서 다음 노드로의 연결은 축 방향으로 제한



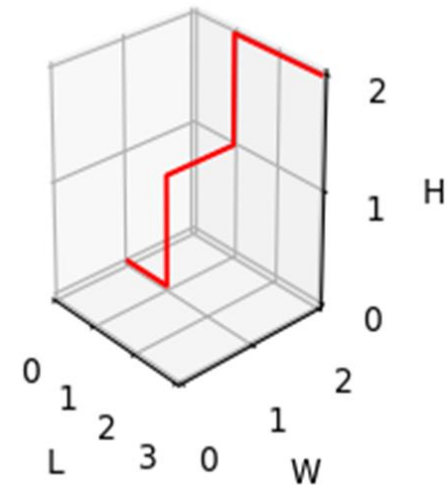
level 0



level 1



level 2



4.2 최적화 기법

- 탐색 단계
 - ✓ 케이블별로 비열등 경로를 모드 탐색
 - ✓ 각 케이블의 비열등 경로 조합을 모두 탐색, 최적의 경로 조합 찾기
- 단일 케이블 비열등 경로를 탐색 알고리즘 약속
 - ✓ Step 1. 초기화
 - 시작 노드에서 출발
 - 이동방향 우선순위($L^+, L^-, W^+, W^-, H^+, H^-$)로 이동방향 저장

4.2 최적화 기법

- 단일 케이블 비열등 경로를 탐색 알고리즘 약술

- ✓ Step 2. 전진

- 한 단계 경로 전진
- 현 단계의 저장된 방향에 따라 현재의 노드를 확정, Step 3로 이동

- ✓ Step 3. 가능성 과 열성 경로 검사

- 다음 조건이 하나라도 적용되면 Step 5로 이동, 아니면 Step 4로 이동
 - Loop 검사 : 현재 노드가 이미 경로상에 존재하는 노드
 - 공간 제약 검사 : 현재 노드가 Space를 벗어난 노드
 - 장애 지역 검사 : 현재 노드가 장애 지역에 위치
 - 열등 경로 검사 : 현재 경로가 열등 경로

4.2 최적화 기법

- 단일 케이블 비열등 경로를 탐색 알고리즘 약술

- ✓ Step 4. 경로 완성 시험

- 현 노드가 종료 노드이면 경로가 완성, Step 5로 이동
 - 아니면 Step 2로 이동

- ✓ Step 5. 백트래킹(Back-Tracking)

- 현 노드에 배정된 이동 우선순위 방향에 따라
 - 마지막 방향이 아니면, 다음 방향을 배정하고 Step 3으로 이동
 - 마지막 방향이고, 저장 단계가 2 보다 크면, 저장단계를 1단계 낮추고 Step 5로 이동
 - 마지막 방향이고, 저장 단계가 2 이면, 모든 탐색을 종료

4.3 휴리스틱 기법

■ 탐색 단계

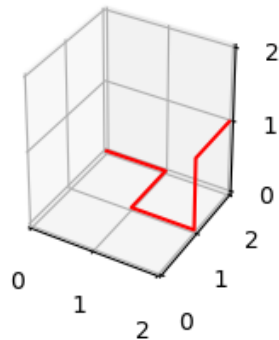
- ✓ 단계 1 : 앞서 설명한 최적화 기법을 사용 케이블별 미리 지정한 수 만큼의 비열등 경로를 생성
- ✓ 단계 2 : 케이블별로 비열등 경로를 임의로 선택 후, 모든 케이블의 경로가 결정되면 케이블 비용과 트레이 비용을 구함
- ✓ 단계 3 : 개선규칙 3가지를 사용하여 반복적으로 해를 개선
 - 더 이상 개선되지 않으면, 단계 2로 이동
 - 새로운 케이블 조합 구성하고, 다시 단계 3을 수행
 - 단계 2와 단계 3의 반복은 미리 정한 횟수 또는 연산시간에

— 도달 시 종료

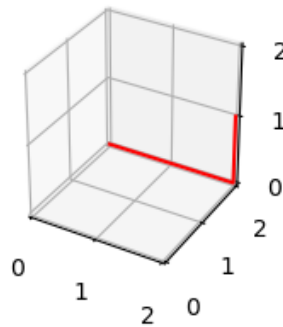
4.3 휴리스틱 기법

■ 개선규칙 1

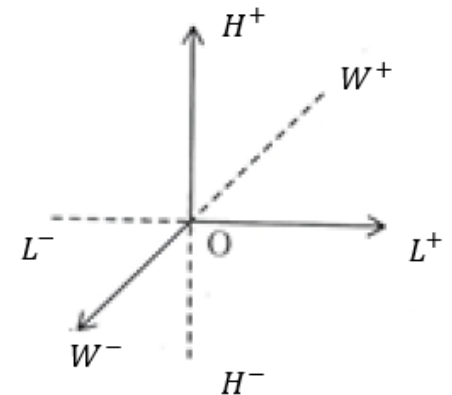
- ✓ 케이블별 경로에 이동방향이 상반된 부분을 제거하여 해가 개선되면 새로운 경로를 생성
- ✓ L^+ 과 L^- , W^+ 과 W^- , H^+ 와 H^- 방향은 서로 제거



[변경전]



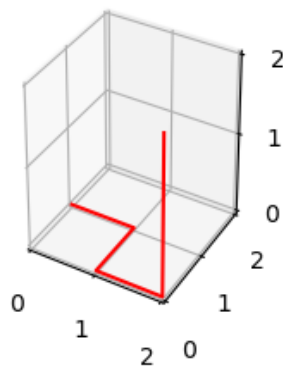
[변경후]



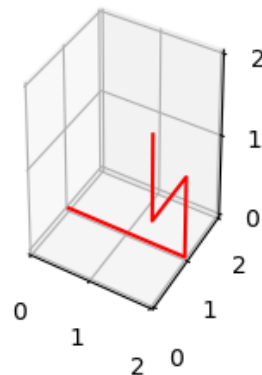
4.3 휴리스틱 기법

■ 개선규칙 2

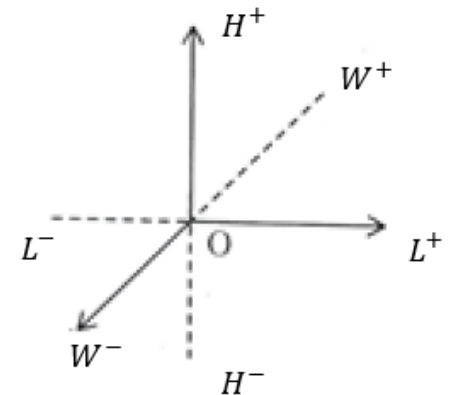
- ✓ 케이블별 경로에서 이동방향의 순서를 변경하여 해가 개선되면 새로운 경로를 생성
- ✓ $L^+ - W^- - L^+ - H^+ - H^+$ 와 $L^+ - L^+ - H^+ - W^- - H^+$



[변경전]



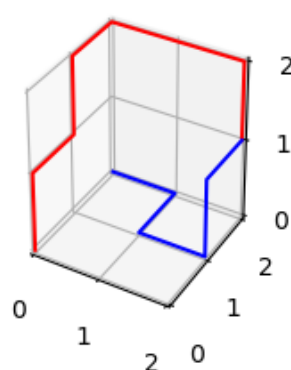
[변경후]



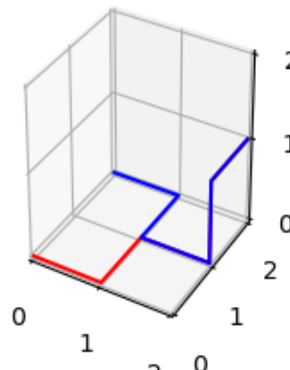
4.3 휴리스틱 기법

■ 개선규칙 3

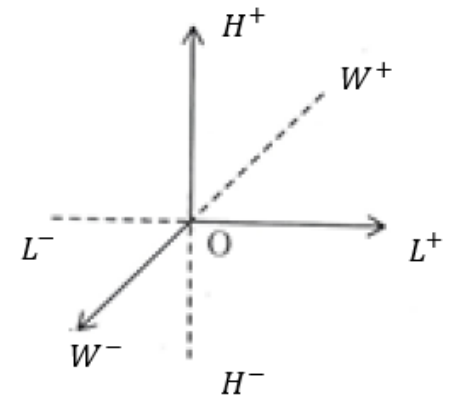
- ✓ 특정 케이블을 시작 노드부터 종료 노드까지 새로이 작성,
이때 가급적 다른 케이블의 경로를 경유하여 종료 노드 도착
- ✓ 트레이 비용을 최소화하여 총 비용이 감소하면 경로 변경



[변경전]



[변경후]



제 5장 모의실험 결과

제 1 장 서론

제 2 장 문헌 연구

제 3 장 문제의 모형

제 4 장 알고리즘

제 5 장 모의실험 결과

제 6 장 결론

5.1 모의실험 조건

5.2 실험 및 평가

5

제 5장 모의실험 결과

5.1 모의실험 조건

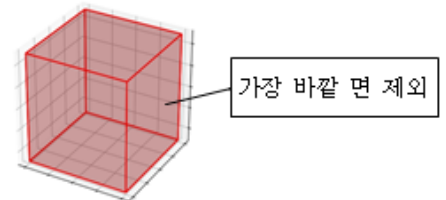
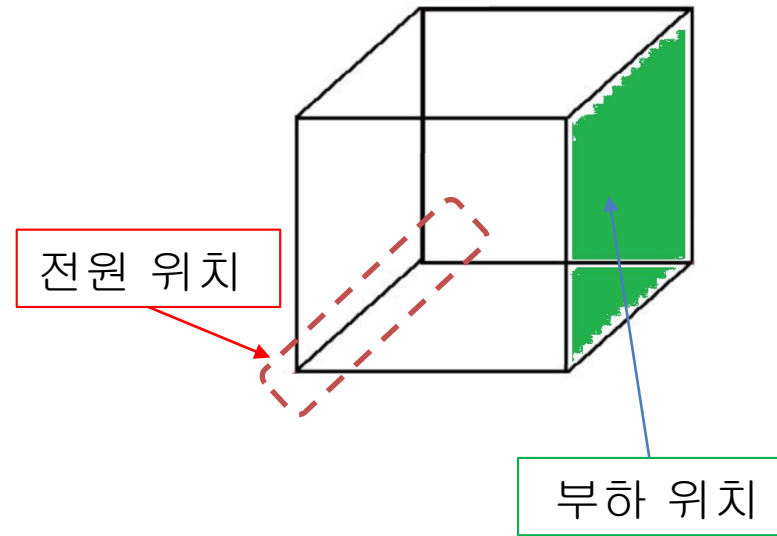
- Hardware : AMD 7 2700 Eight-Core Processor CPU 3.7 GHz
- Software : MS Office Professional Plus 2016 Excel VBA
- 데이터 생성 기본구성

기호	구분	데이터 셋
L	공간의 길이	40
W	공간의 너비	40
H	공간의 높이(층)	8
C	설비의 수(케이블의 수와 일치)	40
P	전원의 수	8
B	장애 공간의 수	12
c_cost	단위 케이블 비용	1
t_cost	단위 트레이 비용	c_cost의 0.20

제 5장 모의실험 결과

5.1 모의실험 조건

- 전원 위치 생성
 - ✓ $(0, 0 \sim W, 0)$ 위치의 정숫값 임의의 선택
- 설비 위치 생성
 - ✓ $(0 \sim L, 0, 0 \sim H)$ 위치의 정숫값 임의의 선택
- 설비의 전원 배정
 - ✓ 하나의 전원은 복수의 설비에 전력 공급
 - ✓ 하나의 설비는 하나의 전원에서 전력 수급
- 장애공간의 위치 생성
 - ✓ 시작점 $(0 \sim (0.7 * L), 0 \sim (0.7 * W), 0 \sim (0.7 * H))$ 의 임의의 정숫값
 - ✓ 종료점 (시작점 $\sim (L-1)$, 시작점 $\sim (W-1)$, 시작점 $\sim (H-1)$)의 임의의 정숫값



제 5장 모의실험 결과

5.2 실험 및 평가

- 전체 케이블 경로 생성과 단계적 개선 모의실험 결과

✓데이터 셋 공간 크기

데이터 셋	L	W	H	전체 공간
1	40	40	8	12,800
2	50	50	10	25,000
3	60	60	12	43,200
4	70	70	14	68,600

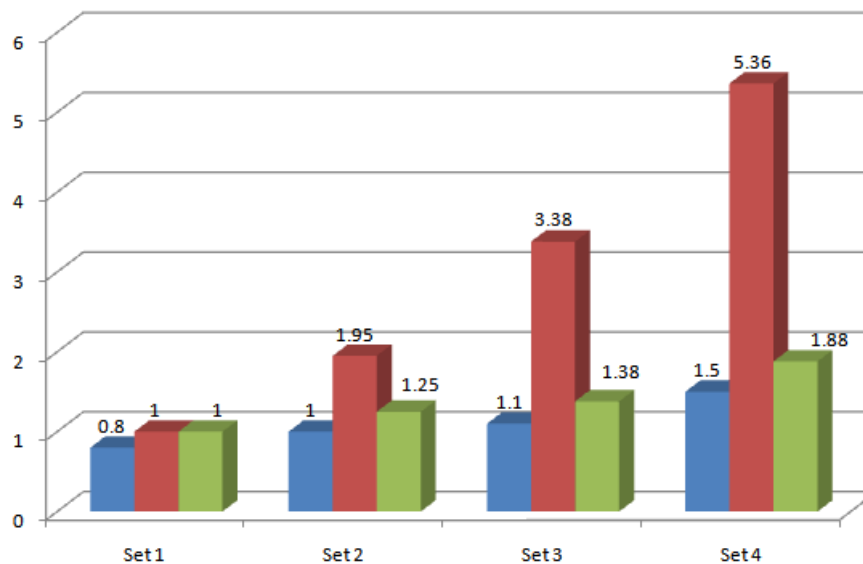
✓모의실험 조건

- 데이터 셋별 10개의 문제 생성(전원, 설비 및 장애위치는 난수)
- 문제별 40개의 케이블마다 30개씩 총 1,200개의 비열등 경로 생성시 CPU 연산시간 기록

제 5장 모의실험 결과

5.2 실험 및 평가

■ 데이터 셋별 탐색공간과 시간



데이터 셋	L	W	H	전체 공간
1	40	40	8	12,800
2	50	50	10	25,000
3	60	60	12	43,200
4	70	70	14	68,600

(단위: 초)

문제번호	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4
1	1	1	1	2
2	0	1	1	1
3	1	1	1	1
4	1	1	1	2
5	1	1	1	2
6	1	1	2	2
7	0	1	1	1
8	1	1	1	1
9	1	1	1	1
10	1	1	1	2
평균	0.8	1	1.1	1.5
최대	0	1	1	1
최소	1	1	2	2

■ 공간이 확장되어도 경로 생성에 효율적으로 사용될 수 있음을 보여줌

5.2 실험 및 평가

■ 전체 케이블 경로 생성과 단계적 개선 모의실험 결과

✓ 개선규칙을 도입하지 않은 모의실험

- 설비의 수 = 케이블의 수 = $C = 40$
- 케이블마다 비열등 경로 30개씩 생성
- 각 케이블마다 생성 경로중 임의 1개 지정후 전체 경로 비용 합 구함
- 데이터 셋 1($L=W=40, H=8, P=8, C=40$) 문제 10개를 대상으로
각 문제마다 총 10,000번의 케이블과 트레이 경로 해를 구함

✓ 개선규칙을 도입한 모의실험

제 5장 모의실험 결과

5.2 실험 및 평가

- 전체 케이블 경로 생성과 단계적 개선 모의실험 결과
 - ✓ 개선규칙을 도입하지 않은 모의실험

문제번호	최초경로 비용합계	10,000번까지 최소비용합계	개선도(%)*	연산시간(초)
1	2,691.00	2,687.80	0.12%	169
2	2,798.40	2,792.20	0.22%	170
3	2,647.20	2,643.60	0.14%	169
4	2,681.40	2,675.60	0.22%	169
5	2,808.20	2,803.40	0.17%	170
6	2,781.20	2,776.80	0.16%	170
7	2,850.40	2,843.80	0.23%	171
8	2,837.60	2,836.80	0.03%	173
9	2,954.40	2,951.40	0.10%	173
10	2,847.60	2,838.40	0.32%	170
평균	2,789.74	2,784.98	0.17%	170
최대	2,954.40	2,951.40	0.32%	173
최소	2,647.20	2,643.60	0.03%	169

5.2 실험 및 평가

- 전체 케이블 경로 생성과 단계적 개선 모의실험 결과
 - ✓ 개선규칙을 도입하지 않은 모의실험결과
 - ✓ 문제 10개를 대상으로 실험한 결과, 개선도는 평균 0.17%,
 - ✓ 가장 좋은 경우는 0.32%
 - ✓ 개선규칙이 필요함을 의미

5.2 실험 및 평가

- 전체 케이블 경로 생성과 단계적 개선 모의실험 결과
 - ✓ 개선규칙을 도입한 모의실험
 - 4개의 데이터 셋을 대상으로 개선규칙 도입한 휴리스틱 성능 조사
 - 각 문제마다 케이블별 비열등 경로 30개씩 생성
 - 문제별 40개의 케이블에서 각 케이블 비열등 경로 30개중 하나를 임의 선택하여 초기해 생성(1단계)
 - 1단계에서 생성한 초기해를 개선규칙을 사용하여 개선(2단계)
 - 1,2단계를 주어진 연산시간까지 반복하여 비용의 합이 가장 작은 해를 선택

제 5장 모의실험 결과

5.2 실험 및 평가

- 전체 케이블 경로 생성과 단계적 개선 모의실험 결과
 - ✓ 개선규칙을 도입한 모의실험(데이터 셋 1, 제한시간 450초)

경과시간	경과시간까지의 개선도
30	2.04%
60	3.61%
90	4.29%
120	4.78%
150	5.19%
180	5.34%
210	5.40%
240	5.41%
270	5.41%
300	5.41%

- ✓ 데이터 셋 1의 경우, 240초(개선도 5.41%) 경과 이후는 개선 없음

제 5장 모의실험 결과

5.2 실험 및 평가

■ 전체 케이블 경로 생성과 단계적 개선 모의실험 결과

✓ 개선규칙을 도입한 모의실험
(데이터 셋 2, 제한시간 450초)

✓ 데이터 셋2의 경우,
300초(개선도 6.05%)
이후 개선 없음

경과시간	경과시간까지의 개선도
30	0.99%
60	1.97%
90	3.00%
120	3.92%
150	4.57%
180	5.05%
210	5.53%
240	5.97%
270	6.00%
300	6.05%
330	6.05%
360	6.05%
390	6.05%
420	6.05%
450	6.05%

제 5장 모의실험 결과

5.2 실험 및 평가

■ 전체 케이블 경로 생성과 단계적 개선 모의실험 결과

✓ 개선규칙을 도입한 모의실험(데이터 셋 3, 제한시간 750초)

경과시간	경과시간까지의 개선도		
30	0.58%	420	6.10%
60	1.12%	450	6.11%
90	1.68%	480	6.18%
120	2.23%	510	6.23%
150	2.77%	540	6.24%
180	3.32%	570	6.26%
210	3.82%	600	6.26%
240	4.32%	630	6.26%
270	4.65%	660	6.26%
300	4.97%	690	6.26%
330	5.36%	720	6.26%
360	5.64%	750	6.26%
390	5.93%		

✓ 데이터 셋 3의 경우, 570초(개선도 6.26%) 이후 개선 없음

제 5장 모의실험 결과

5.2 실험 및 평가

■ 전체 케이블 경로 생성과 단계적 개선 모의실험 결과

✓ 개선규칙을 도입한 모의실험(데이터 셋 4, 제한시간 1,200초)

경과시간	경과시간까지의 개선도	경과시간	경과시간까지의 개선도				
30	0.35%	630	6.06%	330	3.73%	930	6.26%
60	0.68%	660	6.16%	360	4.01%	960	6.26%
90	1.03%	690	6.17%	390	4.26%	990	6.26%
120	1.41%	720	6.21%	420	4.60%	1,020	6.26%
150	1.78%	750	6.22%	450	4.85%	1,050	6.26%
180	2.10%	780	6.23%	480	5.09%	1,080	6.26%
210	2.45%	810	6.24%	510	5.31%	1,110	6.26%
240	2.79%	840	6.25%	540	5.54%	1,140	6.26%
270	3.13%	870	6.25%	570	5.74%	1,170	6.26%
300	3.45%	900	6.26%	600	5.93%	1,200	6.26%

✓ 데이터 셋4인 경우, 900초 이후 개선 없음

제 1 장 서론

제 2 장 문헌 연구

제 3 장 문제의 모형

제 4 장 알고리즘

제 5 장 모의실험 결과

제 6 장 결론

6.1 연구 결과

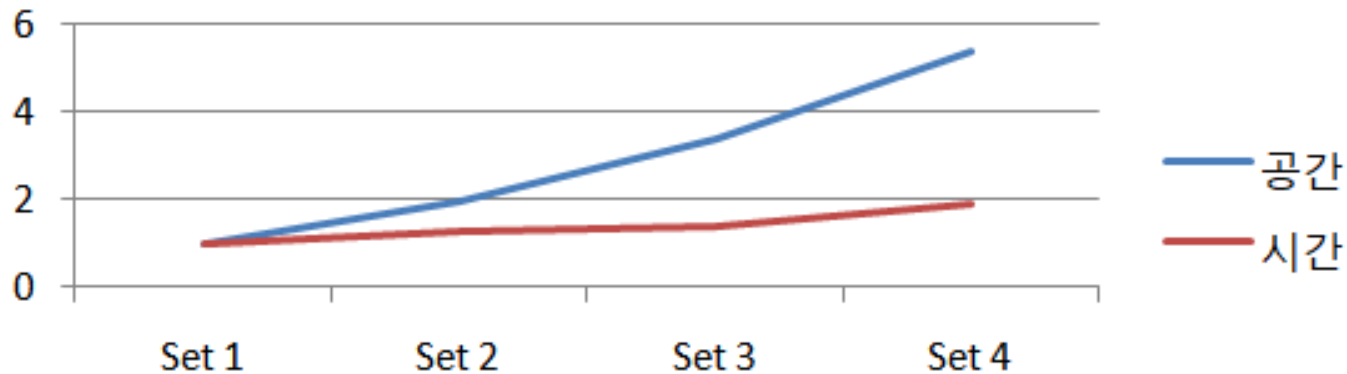
6.2 연구의 시사점

6.3 연구의 한계 및 향후 연구과제

6

6.1 연구 결과

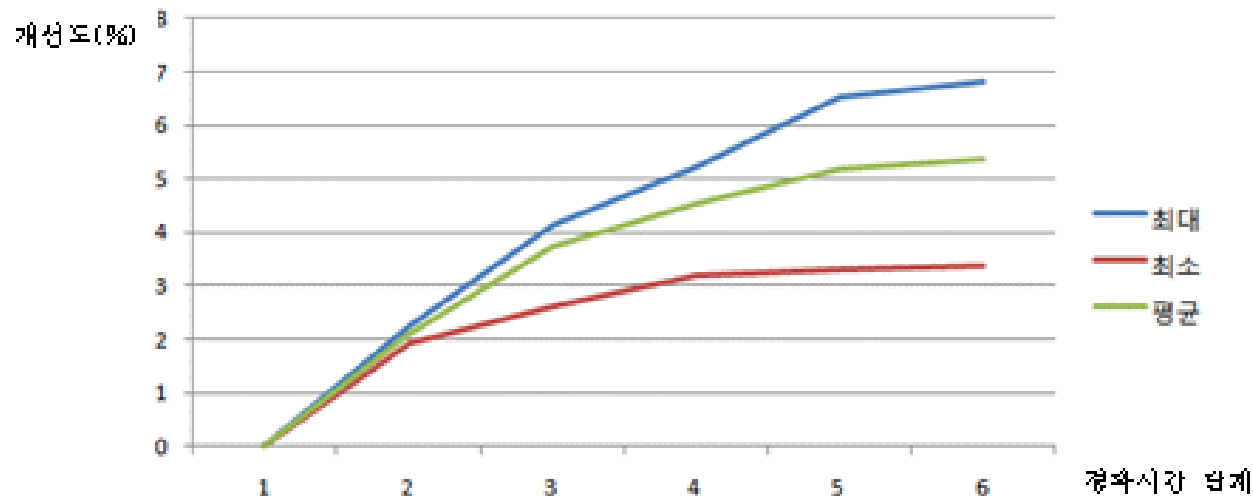
■ 케이블별 비열등 경로 생성의 모의실험 결과



- ✓ 초기 데이터 셋1(공간크기 : 12,800) 대비 공간크기를 1.25배, 1.38배, 1.88배로 증가시 최대 연산시간은 1.5초
- ✓ 따라서 제안한 알고리즘은 큰 공간에서도 데이터 셋별 탐색시간은 효율적임을 확인함

6.1 연구 결과

■ 전체 케이블 경로 생성과 단계적 개선 모의실험 결과



✓ 모의실험 최초의 해를 기준으로 1단계 초기해, 2단계 30초 후 2.11% , 60초 후 3.72%, 90초 후 4.55%, 120초 후 5.17%, 150초 후 5.36%까지 개선됨

✓ 이동방향 우선순위와 개선규칙을 적용한 휴리스틱 기법이 실용적인 문제의 크기에서도 현실적인 시간 내에 비교적 우수한 품질의 해를 도출함을 확인

6.2 연구의 시사점

- 3차원 공간을 기반으로 다중 전력케이블을 최적화
- 전력케이블과 케이블 이동경로인 케이블 트레이를 포함한 전반적인 라우팅 최적화 연구
- 작은 크기의 문제에 대한 최적화 기법(이동방향 우선) 제안
- 큰 크기의 문제에 대한 휴리스틱 기법(개선규칙 3가지) 제안

6.3 연구의 한계 및 향후 연구과제

■ 한계점

- ✓ 본 연구의 실험 조건은 실제 현장의 여건을 단순화하고, 가상의 데이터를 사용함으로 현실과 차이가 있을 수 있음

■ 향후 연구과제

- ✓ 더 큰 공간영역과 많은 케이블 수에도 적용 가능한 개선규칙 연구
- ✓ 유전알고리즘과 같은 메타휴리스틱 기법과의 비교분석
- ✓ 케이블의 타입과 트레이의 크기(용량 제한)를 반영한 최단경로 연구

제 6장 참고문헌

6.1 국내문헌

- 권오성, 조형주(2017), 방향성이 있는 동적인 도로에서 실시간 최단 경로 탐색 시스템의 설계와 구현. 멀티미디어학회논문지, 20(4), 649-659.
- 기준서, 전석일(2011), APR1400의 전력계통 현황 및 주요 개선사항, 전기의세계 60, 대한전기학회, 40-47
- 박기홍, 강안나, 최효범, 이양선(2014), 발전소 전기설비를 위한 효과적인 케이블 포설 알고리즘 및 자동화 프로그램 구현. 한국정보통신학회 논문지, 18(9), 2229-2236.
- 박기홍, 이양선(2016), 동적 계획 알고리즘을 이용한 효과적인 케이블 드럼 스케줄 및 자동화 프로그램 구현. 한국디지털콘텐츠학회 논문지, 17(4), 257-263.
- 박범환, 정광우(2014), 노선 계획을 고려한 철도 선로 용량 배분 최적화 모형 및 해법, 한국철도학회논문집, 제17권 제6호, 466-473.
- 박소령, 노상욱(2013), 확장된 깊이우선탐색 알고리즘을 적용한 다중표적 위치 좌표 추정 기법, 한국통신학회논문지, 38(12), 1207-1215.
- 박승용, 유기윤(2011), 공간 라우팅을 위한 경로탐색 알고리즘 비교연구. 한국측량학회 학술대회자료집, 11-12.
- 산업통상자원부 고시 제2019-45호, 전기설비기술기준
- 산업통상자원부 공고 제2019-195호, 전기설비기술기준의 판단기준
- 성기석, 임준묵(1995), 분지한계기법을 이용한 무한네트워크에서 최대물동량경로의 해법에 관한 연구, 한국경영과학학회지, 20(3), 31-41. 등

6.2 국외문헌

- Akiba, T., Iwate, Y. and Yoshida, Y.(2013), Fast exact shortest-path distance queries on large networks by pruned landmark labeling, Proceeding of the 2013 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, 349–360.
- Bellman, R.(1958), On a routing problem, Quarterly of Applied Mathematics, vol. 16, no. 1, 87–90.
- Berger, D., Gendoron, B., Potvin, J, Raghavan, S., Soriano, P.(2000), Tabu Search for a Network Loading Problem with Multiple Facilities, Journal of Heuristics, vol. 6, issue 2, 253–267.
- Bogdan Constantin Neagu, Gheorghe Georgescu.(2014), Wind Farm Cable Route Optimization Using a Simple Approach, International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE 2014), 16–18.
- Bradley, Gordon H., Gerald G. Brown, and Glenn W. Graves.(1977), Design and Implementation of Large Scale Primal Transshipment Algorithms, Management Science 24, no. 1, 1–34.
- Cormen, Thomas H., Leiserson, Charles E., Rivest, Ronald L., Stein, Clifford.(2009), Introduction To Algorithm, 3rd edition, MIT Press. 등

Q & A

~ 감사합니다 ~