

동적 계획 알고리즘을 이용한 효과적인 케이블 드럼 스케줄 및 자동화 프로그램 구현

박기홍*, 이양선*

요약

케이블 드럼 스케줄은 발전소 전기설비 설계를 위한 최종단계로 레이스웨이에 포설 계획된 케이블들을 효율적으로 케이블 드럼에 할당하는 것이다. 본 논문에서는 케이블들을 코드별로 케이블 드럼 용량에 맞게 스케줄링 하는 자동화 프로그램을 구현하였으며, 케이블 드럼 스케줄을 위한 최적화 문제를 효과적으로 해결하기 위해 동적 계획 알고리즘을 적용하였다. 구현 결과 케이블 드럼 스케줄 자동화는 설계 규격대로 수행됨을 확인할 수 있었고, 기존방법에서 발생하는 케이블 부족 및 낭비와 같은 오류를 제거 및 케이블 드럼 스케줄 소요시간을 줄일 수 있었다. 발전소 전기설비를 위한 케이블은 최소 2만개 이상으로 설계되기 때문에 제안하는 자동화 프로그램을 적용한다면 심각한 오류 없이 케이블 드럼 스케줄의 설계 소요시간을 현저히 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

키워드 : 케이블 드럼, 드럼 스케줄, 탐색 알고리즘, 동적 계획, 엑셀 자동화

Implementation of Automation Program and Efficient Cable Drum Schedule using Dynamic Programming Algorithm

Ki-Hong Park*, Yang Sun Lee*

Abstract

Cable drum schedule is the final step for the electrical equipment of the power plant, and is assigned cables to efficiently cable drum. In this paper, we have implemented an automated program which cables are scheduled in accordance with the capacity of the cable drum for each cable code. Proposed cable drum schedule was applied to the dynamic programming algorithm to effectively solve the optimization problem, and the implemented program is conducted so as to verify the proposed model. The experiment results show that implemented program eliminates the errors that can occur existing method, so we were able to reduce the design time of cable drum schedule. Cables for the electrical equipment of the power plant is designed to at least 2 million units or more. Thus the automation program to provide applies, it is considered that the design time of the cable drum schedule can be greatly reduced without serious error.

Keywords : Cable drum, Drum schedule, Knapsack algorithm, Dynamic programming, Excel automation

1. 서론

최근 발전소 전기설비를 효과적으로 설계하기 위한 자동화 연구가 다양하게 수행되고 있지만, 케이블 포설을 위한 계획부터 케이블 발주까지의 모든 절차가 아직까지 수기로 진행되고 있다. 특히, 수기로 설계되는 발전소 전기설비 구축은 규모에 따라 최소 6개월부터 수년까지의 설계과정이 이루어질 수 있으며, 케이블 포설 설계 오류, 이중 작업, 케이블 부족 및 낭비 등과 같은 심각한 오류를 동반하고 있다[1,2]. 따라서 케이

※ Corresponding Author : Yang Sun Lee

Received : July 22, 2016

Revised : August 20, 2016

Accepted : August 25, 2016

* Division of Convergence Computer & Media,
Mokwon University

Tel: +82-42-829-7638 , Fax: +82-42-824-7638

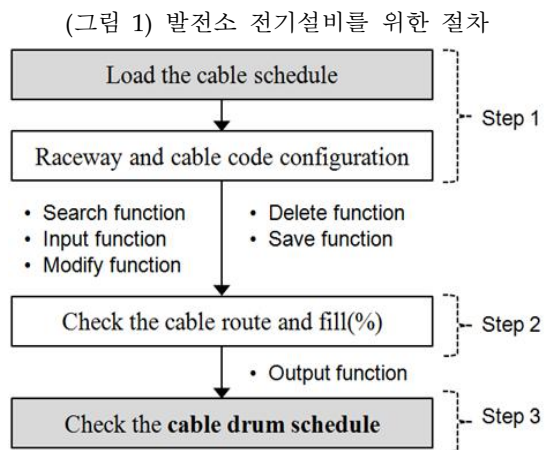
email: yslee@mokwon.ac.kr

블 포설 설계부터 케이블 발주 단계까지의 자동화 연구는 매우 중요하며, 레이스웨이(raceway) 구성과 케이블 포설 설계 자동화 연구는 [3,4]에서 제안한 바 있다. 이에 본 논문에서는 발전소 전기설비의 케이블 포설 설계 단계 후 케이블 발주를 위한 자동화 방법으로 동적계획 알고리즘을 기반으로 한 케이블 드럼 스케줄 방법을 제안하고자 한다. 본 논문의 구성은 2장에서 케이블 포설을 위한 레이스웨이와 케이블 코드 구성 등의 발전소 전기설비 시나리오에 대해 설명하고, 3장에서는 본 논문에서 제안한 동적계획 알고리즘으로서 Knapsack 알고리즘을 이용한 케이블 드럼 스케줄 및 자동화 구현에 대해 제시한다. 끝으로 4장에서 결론을 맺는다.

2. 발전소 전기설비 시나리오

2.1 발전소 전기설비 개념

발전소 전기설비는 (그림 1)과 같은 절차를 가지며, 크게 케이블 스케줄 입력단계, 케이블 라우트(cable route) 및 필(fill) 점검 단계 및 케이블 드럼 스케줄 단계로 구성될 수 있다. 먼저 수기로 작성된 케이블 스케줄을 입력받아 레이스웨이와 케이블 코드를 정의하고, 두 번째 단계에서는 케이블별 라우트 검색/수정/저장 및 케이블 필 등을 점검한다. 마지막으로 케이블 드럼 스케줄을 통해 케이블 발주로 진행된다.

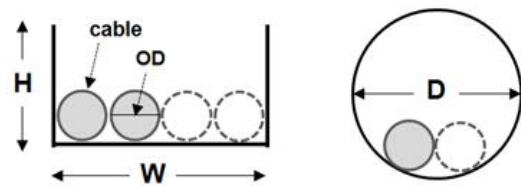


(Figure 1) Electrical equipment procedures in plant

2.2 레이스웨이와 케이블 포설 요구사항

케이블 선로 구간을 나타내는 레이스웨이는 (그림 2)와 같이 트레이(tray)와 컨디트(conduit)로 구성되며, 케이블 라우트는 케이블이 포설된 레이스웨이의 연속된 구간을 의미한다. 또한 발전소 전기설비 구축을 위해 사용되는 케이블의 종류는 발전소의 특성상 케이블은 타입(type), 컨덕터(conductor)의 수, 크기(size) 및 접지(ground)에 따라 대략 4만 가지 이상의 케이블이 있으며, 레이스웨이와 케이블의 코드 정의 및 자동화 구현은 [4]에서 제안하였다.

(그림 2) 레이스웨이 종류: 트레이와 컨디트



(Figure 2) The raceway types: tray(left) and conduit(right)

레이스웨이에 포설 계획된 케이블의 수에 따른 케이블 필 점검은 트레이와 컨디트의 경우에 따라 다르며, 식 1과 같은 동일한 전처리 과정이 수행된다.

$$SoA(\%) = 100 \times \sum_{n=1}^N AoC, \tag{1}$$

$$AoC(\%) = \frac{\pi \times OD^2}{4}$$

식 1에서 AoC(area of cable)와 SoA(sum of area)는 각각 케이블의 단면적과 레이스웨이를 지나는 모든 케이블의 단면적 총합을 의미하며, OD(outer diameter)는 케이블의 외부 지름을 나타낸다. 또한 레이스웨이 종류에 따라 케이블 필 경계가 다르며, 이는 레이스웨이에 포설된 케이블들의 꼬임(jam) 현상을 회피하기 위함이다. <표 1>에서와 같이 케이블 필 요구사항은 트레이인 경우는 단면적(H×W)의 30 또는 40%, 컨디트인 경우는 케이블의 수에 따라 53, 31, 40%를 갖는다[5,6].

<표 1> 레이스웨이 형식에 따른 단면적

Raceway Type	Restricted Percent(%)	
Tray	30 or 40	
Conduit	one cable	53
	two cables	31
	three or more cables	40

<Table 1> Percent of cross section according to the raceway types

2.3 케이블 드럼 스케줄

레이스웨이와 케이블 코드 구성, 케이블 라우트 설계 및 케이블 필 점검 등과 같은 케이블 스케줄 과정이 완료되면 케이블 드럼 발주가 진행되며, (그림 3)과 같은 케이블 드럼은 케이블의 종류에 따라 수십에서 수천 미터까지 다양하다.

(그림 3) 케이블 드럼 예시



(Figure 3) The examples of cable drum

3. Knapsack 알고리즘을 이용한 케이블 드럼 스케줄

3.1 Knapsack 알고리즘

레이스웨이에 포설되는 동일한 케이블들은 케이블 드럼 용량에 따라 레이스웨이 구간에서 스케줄링 되어야 하며, 이는 최적화 문제에 해당된다. 즉, 배낭문제(knapsack problem)와 가장 밀접하며, 가치와 무게가 있는 짐들을 배낭에 넣을 때 가치의 합이 최대가 되도록 짐을 고르는 문제이다[7,8]. 배낭문제 알고리즘은 크게 짐을 쪼갤 수 있는 분할가능 배낭문제(fractional knapsack problem), 짐을 쪼갤 수 없는 0-1 배낭문제(0-1 knapsack problem)로 구분할 수 있다.

본 논문에서 제안하는 케이블 드럼 스케줄링의 자동화는 케이블의 부족 및 낭비의 오류를 제거하고, 케이블 드럼의 용량에 맞게 케이블의

길이를 최적화하여 설계해야하므로 각 레이스웨이 구간에 포설된 케이블을 쪼갤 수 없다. 따라서 케이블 드럼 스케줄 자동화는 0-1 배낭문제 알고리즘을 기반으로 적용될 때 최적화가 가능하다. 0-1 배낭문제는 i 개의 항목들이 있고, 아이템의 무게(w)가 0보다 클 때 전체 무게(W)를 넘지 않도록 i 번째까지의 항목 중에서 최대 이익(optimal profit)을 얻는 과정은 식 2와 같이 정의된다[9].

$$\begin{aligned}
 & maximize \sum_{i=1}^n v_i x_i \\
 & subject\ to \sum_{i=1}^n w_i x_i \leq W, \\
 & \sum x_i \in \{0,1\}.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

식 2에서 v_i 와 w_i 는 각각 가치와 무게이며, W 는 배낭의 최대 용량을 나타낸다. 최대 이익이 $M[n][W]$ 일 때 식 2를 재귀적으로 표현하면 식 3과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 & M[0, w] = 0, \\
 & if\ w_i > w \\
 & \quad M[i, w] = M[i-1, w] \\
 & else \\
 & \quad M[i, w] = max(M[i-1, w], \\
 & \quad \quad M[i-1, w-w_i] + v_i).
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

3.2 케이블 드럼 스케줄

본 논문에서 제안하는 케이블 드럼 스케줄은 (그림 1)의 전기설비 절차의 1단계에서 구성한 레이스웨이에 포설된 케이블들을 동일한 코드별로 케이블 드럼에 할당하는 과정에서 케이블의 부족 및 낭비를 최소화해야 하므로 제안하는 케이블 드럼 스케줄 설계를 위해 0-1 배낭문제 알고리즘을 적용하였다. 레이스웨이 각 구간의 길이는 포설되는 케이블의 길이와 같으므로 식 2와 식 3에서 나타낸 v_i 와 w_i 는 구간별 케이블 길이와 같다. 0-1 배낭문제 알고리즘을 적용하여 제안하는 케이블 드럼 스케줄을 위한 구현된 코드는 (그림 4)와 같다.

(그림 4) 0-1 Knapsack 알고리즘을 이용한 케이블 드럼 스케줄링 코드

```

int weight[ITEM]; // weights
int value[ITEM]; // values
int OPT[ITEM]={0,}; // optimized Value
int **M; // array for the dynamic program
int i, w, size, cnt=0, itemcnt=0;

// malloc
M=(int**) malloc( sizeof(int *) * (ITEM+1));
for(i=0; i<=ITEM; i++)
    M[i]=(int*)malloc(sizeof(int)* (n+1));

// initialization
for(i=0; i<=n; i++)
    M[0][i]=0;

for(i=0; i<=ITEM; i++)
    M[i][0]=0;

// dynamic problem(0-1 knapsack)
for(i=1; i<=ITEM; i++) { // nPresentCount -> ITEM
    for(w=1; w<=n; w++) { // int n = nDrumCapacity;
        if(weight[i-1] <= w) {
            if(value[i-1]+M[i-1][w-weight[i-1]] > M[i-1][w])
                M[i][w] = value[i-1]+M[i-1][w-weight[i-1]];
            else
                M[i][w] = M[i-1][w];
        } else {
            M[i][w] = M[i-1][w];
        }
    }
}
}
size=M[ITEM][n];
    
```

(Figure 4) Code of cable drum schedule using 0-1 knapsack algorithm

3.3 케이블 드럼 스케줄 자동화 프로그램 구현

본 논문에서 제안하는 케이블 드럼 스케줄 자동화는 발전소 전기설비 구축을 위한 레이스웨이와 케이블 코드 구성 및 케이블 필 점검 등을 포함해 필수적으로 수행되어야 하는 절차이다. (그림 5)는 구현된 자동화 프로그램의 검증을 위해 359개의 케이블 포설설계를 하였다. 또한 (그림 5)는 (그림 1)에서 2단계까지의 과정이 완료된 결과이며, 케이블 코드별 레이스웨이에 포설된 구간과 각 케이블 코드별 총 길이를 알 수 있다.

(그림 5) (그림 1)의 1단계와 2단계 케이블 스케줄 결과

	A	C	G	K
1	NO	TYPE_CODE	Length(M)	Cable Route
2	1	838	60	2GK14RD,2GK01TD,2GK02TD,2GK03TD,2GK04TD,2GK06RA
3	2	839	120	2GK13RD,2GK01TD,2GK02TD,2GK03TD,2GK04TD,2GK06RA
4	3	83A	100	2GK07RA,2GK01TD,2GK02TD,2GK03TD,2GK04TD,2GK08RA
5	4	838	130	2GK01RA,2GK01TD,2GK02TD,2GK03TD,2GK04TD,2GK02RA
omission in the middle				
356	355	TR6	100	3HX05TV,3HX06TV,3HX07TV,3HX08TV
357	356	TR6	100	3HX05TV,3HX06TV,3HX07TV,3HX08TV
358	357	TR6	100	3HX05TV,3HX06TV,3HX07TV,3HX08TV
359	358	TR6	100	3HX05TV,3HX06TV,3HX07TV,3HX08TV
360	359	TR6	100	3HX05TV,3HX06TV,3HX07TV,3HX08TV

(Figure 5) The results of cable schedule from step 1 to 2 in (Figure 1)

(그림 5)에서 3번 케이블 코드 '83A'는 6개의 레이스웨이 구간에 포설 설계되었고, 케이블 길이는 100미터이다. 또한 케이블 코드 '83A'는 (그림 6)에서와 같이 총 14개의 케이블이 있으며, 총 길이 합은 1884미터이다.

(그림 6) 케이블 드럼 스케줄을 위한 케이블 코드 정보

CODE	O.D	Total Length	Drum Schedule	Q'ty	NO's
81H	38.0	650.00	None	3	13,14,15
838	14.5	740.00	None	4	1,4,61,64
839	15.0	220.00	None	2	2,62
83A	17.0	1884.00	None	14	3,6,8,18,34,36,...
83C	23.0	3130.00	None	12	5,7,17,33,35,45,...
83F	34.0	6620.00	None	41	10,12,16,20,22,...
83G	38.0	9425.00	None	39	9,11,19,21,23,2,...
A26	12.0	7200.00	None	72	138,139,140,14,...
A56	13.0	600.00	None	6	187,189,242,24,...
A76	15.0	900.00	None	9	185,186,188,24,...
AC6	26.0	14300.00	None	143	125,126,127,12,...

* TYPE_CODE : 83A * Cable_Size : FR-CV 24C/10+(10)
 * Cable_Volt : 0.6/1kV * Total Length : 1884.00 **Input drum size**

(Figure 6) Cable code information for cable drum schedule

(그림 7)은 (그림 6)에서 드럼 용량을 500미터로 입력하였을 때 출력되는 결과 화면이며, <표

(그림 7) 동적 계획 알고리즘을 이용한 케이블 코드 83A의 케이블 드럼 스케줄링 결과

Selected Cable Code List					DRUM NO. DRUM LEN. DRUM INPUT LEN.			DRUM NO. DRUM LEN. DRUM INPUT LEN.		
3	83A	0.6/1kV	17.0	100				83A-1	480	500
6	83A	0.6/1kV	17.0	80				83A-1	480	500
8	83A	0.6/1kV	17.0	250				83A-2	494	500
18	83A	0.6/1kV	17.0	155				83A-4	415	500
34	83A	0.6/1kV	17.0	70				83A-4	415	500
36	83A	0.6/1kV	17.0	150				83A-4	415	500
46	83A	0.6/1kV	17.0	110				83A-1	480	500
63	83A	0.6/1kV	17.0	100				83A-1	480	500
66	83A	0.6/1kV	17.0	200				83A-2	494	500
68	83A	0.6/1kV	17.0	175				83A-3	495	500
78	83A	0.6/1kV	17.0	44				83A-2	494	500
93	83A	0.6/1kV	17.0	40				83A-4	415	500
95	83A	0.6/1kV	17.0	90				83A-1	480	500
105	83A	0.6/1kV	17.0	320				83A-3	495	500

After applying the cable drum schedule using dynamic program algorithm

(Figure 7) Cable drum scheduling results of cable code '83A' using dynamic program algorithm

2>는 0-1 배낭문제 알고리즘을 적용하여 14개의 '83A' 케이블들이 드럼 용량(500미터)에 최적화 되는 결과로 케이블 드럼 4개가 필요하다. 또한 (그림 8)은 359개의 모든 케이블 코드에 대해 케이블 드럼 스케줄이 완성된 결과이다.

<표 2> 케이블 코드 '83A'의 드럼 스케줄

Drum No.	Cable code No. of '83A'(cable length)	Total length(M)
83A-1	46(110), 63(100), 3(100), 95(90), 6(80)	480
83A-2	8(250), 66(200), 78(44)	494
83A-3	105(320), 68(175)	495
83A-4	18(155), 36(150), 34(70), 93(40)	415

<Table 2> Drum schedule of cable code '83A'

(그림 8) 모든 케이블에 대한 케이블 드럼 스케줄링 결과

CODE	O.D	Total Length	Drum Schedule	Q'ty	NO's
83F	3...	6620.00	Complete	41	10,12,16,20,22,...
83G	3...	9425.00	Complete	39	9,11,19,21,23,2...
A26	1...	7200.00	Complete	72	138,139,140,141...
A56	1...	600.00	Complete	6	187,189,242,244...
A76	1...	900.00	Complete	9	185,186,188,240...
AC6	2...	14300.00	Complete	143	125,126,127,128...
DF6	1...	500.00	Complete	5	120,121,122,123...
TR6	1...	500.00	Complete	5	355,356,357,358...
TT6	3...	810.00	Complete	4	108,109,110,111
TT6	3...	810.00	Complete	4	108,109,110,111

* TYPE_CODE : AC6 * Cable_Size : FR-CVV 24C/1.5
* Cable_Volt : 0.6/1kV * Total Length : 14300.00 /

(Figure 8) Cable drum scheduling results of all cables

케이블 코드별 수백 또는 수천 개의 케이블이 존재할 때 수기로 케이블 드럼 스케줄을 설계한다면 상당한 시간이 소요될 것이며, 또한 케이블 낭비와 같은 오류로 인해 추가적인 케이블 드럼을 발주해야 하는 경우가 생기고 추가비용이 발생된다. 반면 제안하는 케이블 드럼 자동화 케이블 드럼 스케줄 설계 시 케이블 부족 및 낭비 등과 같은 심각한 오류를 제거할 수 있다. 특히 발전소 전기설비를 위한 케이블은 최소 2만개 이상으로 설계되기 때문에 제안하는 자동화 프로그램을 적용한다면 몇 달에서 몇 년이 걸리던 케이블 포설 및 케이블 드럼 스케줄의 설계 소요시간을 현저히 줄일 수 있다. (그림 9)는 (그림 1)의 모든 절차를 완료한 후의 최종 출력된 결과이다.

(그림 9) 케이블 드럼 스케줄의 최종 결과

NO	TYPE_CODE	Length(M)	DRUM NO.	Drum Len.	Drum Input Len.
1	838	60	838-1	740	800
2	839	120	839-1	220	300
3	83A	100	83A-1	480	500
4	838	120	838-1	740	800
omission in the middle					
355	TR6	100	TR6-1	500	500
356	TR6	100	TR6-1	500	500
357	TR6	100	TR6-1	500	500
358	TR6	100	TR6-1	500	500
359	TR6	100	TR6-1	500	500
360	TR6	100	TR6-1	500	500

(Figure 9) Final results of cable drum schedule

4. 결론

본 논문에서는 발전소 전기설비를 위한 레이 스웨이와 케이블 코드 구성을 통해 케이블 포설 계획을 설계 하고, 최종 단계인 케이블 드럼 스케줄을 위한 자동화 프로그램을 구현하였다. 레이스웨이에 포설 계획된 케이블들은 코드별로 케이블 드럼 용량에 맞게 스케줄링 되어야 하고, 이때 케이블은 꼬이지 않아야 하는 특징을 가진다. 따라서 케이블 드럼 스케줄의 자동화는 최적화 문제를 효과적으로 해결할 수 있는 0-1 Knapsack 알고리즘을 적용하였다.

기존의 수기로 작성되는 케이블 드럼 스케줄은 상당한 시간이 소요되고 잦은 오류로 인해 인적·시간적 투자가 많아 비효율적이지만 제안하는 방법의 실험 결과 케이블 부족 및 낭비와 같은 심각한 오류를 제거하고, 케이블 드럼 스케줄 소요시간을 현저히 줄일 수 있었다. 특히 몇 달 이상의 시간 투자를 규모에 따라 하루에서 한 달 이내로 줄일 수 있어 케이블 드럼 스케줄을 효과적으로 설계할 수 있을 것으로 사료된다. 향후, 본 논문에서 제안된 케이블 포설 및 케이블 드럼 스케줄 절차들을 3D로 구현하는 것을 목표로 한다.

References

[1] IEEE Std. 1185-1994, IEEE Guide for Installation Methods for Generating Station Cables, IEEE Power and Energy Society, New York, NY, 2002.

[2] National Fire Protection Association and Delmar, NEC 2011 Handbook, 12th edition, NFPA Publication, Dec. 2010.

[3] K. H. Park, A. N. Kang, H. B. Choi, and Y. S. Lee, "Implementation of Efficient Cable Spreading Algorithm and Automation Program for Electrical Equipment in Power Plant," Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, vol. 18, no. 9, pp. 2229-2236, Sep. 2014.

[4] K. H. Park, and Y. S. Lee, "Automated Cable Route Design based Flexible Cable Fill Check of Raceway

in Cable Spreading of Generating Station," Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, vol. 20, no. 3, pp. 607-624, Mar. 2016.

[5] IEEE Std. 422-2012, IEEE Guide for the Design of Cable Raceway Systems for Electric Generating Facilities, IEEE Power and Energy Society, New York, NY, 2013.

[6] IEEE Std. 690-2004, IEEE Standard for the Design and Installation of Cable Systems for Class 1E Circuits in Nuclear Power Generating Stations, Power Generation Committee of the IEEE and Power Engineering Society, New York, NY, 2005.

[7] S. S. Lee, and J. W. Jang, "Development of M2M Simulator for Mobile Network using Knapsack Algorithm," Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, vol. 17, no. 11, pp. 2661-2667, Nov. 2013.

[8] Richard Neapolitan, and Kumarss Naimipour, Foundations of Algorithms, 2th ed. Miami, MA: Jones and Bartlett, 1998.

[9] Wikipedia. Knapsack problem [Internet]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Knapsack_problem/.

박 기 흥



2005년 : 목원대학교 대학원 (공학 석사)
 2010년 : 목원대학교 대학원 (공학 박사-멀티미디어신호처리)

2008년~2009년: 방재정보통신지역혁신센터
 2010년~2012년: (주)인코넥스
 2012년~현재: 목원대학교 융합컴퓨터미디어학부 교수
 관심분야 : 컴퓨터비전, 패턴인식, 디지털콘텐츠, 자동화시스템, 방재응용기술 등

이 양 선



2007년 : 목원대학교 대학원 (공학
박사-무선통신)

2012년 : Graduated School of
Engineering, Fukuoka
Institute of Technology (공
학박사-유비쿼터스컴퓨팅)

2007년 ~ 2009년: ㈜휴메이트

2009년 ~ 2011년: 조선대학교 연구교수

2012년 ~ 현재: 목원대학교 융합컴퓨터미디어학부 교수

관심분야 : IT융합, 차량-IT, IoT, UWB, 가시광 무
선통신, 전파성능분석, 디지털 무선통신 등