발전소 전기설비를 위한 효과적인 케이블 포설 알고리즘 및 자동화 프로그램 구현

박기홍¹ · 강안나² · 최효범³ · 이양선^{1*}

Implementation of Efficient Cable Spreading Algorithm and Automation Program for Electrical Equipment in Power Plant

Ki-Hong Park¹ · An Na Kang² · Hyo Beom Choi³ · Yang Sun Lee^{1*}

¹Division of Convergence Computer & Media, Mokwon University, Daejeon, 302-729, Korea

²Department of Multimedia Engineering, Dongguk University, Seoul, 100-715, Korea

³Wonwoo Engineering Co., Ltd., #B-501 U-space 2, 670 Daewangpangyo-ro, Bundang-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do, 463-400, Korea

요 약

본 논문에서는 발전소 전기설비의 설계 중 케이블 포설 설계가 효과적으로 이루어질 수 있도록 케이블 포설 알고리즘 개발 및 자동화 프로그램을 구현하였다. 기존의 케이블 포설 설계 작업이 수기로 작성됨에 따라 케이블 누락 및 기준치 이상의 케이블 포설 등 불필요한 오류가 발생되어 인적·시간적 투자 대비 비효율성을 갖는 반면, 제안된 케이블 포설 자동화 프로그램은 케이블과 케이블 선로 구간을 코드화하여 효과적으로 과포설 계산 및 선로 구간을 변경할 수 있도록 하였다. 실험 결과, 구현된 케이블 포설 자동화 프로그램은 설계 규격대로 수행됨을 확인할 수 있었고, 프로젝트의 규모에 따라 하루에서 한 달 이내로 설계기간을 줄일 수 있어 발전소 전기설비를 위한 케이블 포설 설계를 경제적이고 효과적으로 할 수 있을 것으로 사료된다.

ABSTRACT

In this paper, we proposed and implemented the automated cable-spreading program which can be done effectively cabling plan for electrical equipment in power plant. Cause the process of existing cable-spreading design was written in by hand, there are grossly inefficient gain by a personal and time investment with cable omission and unfixed overfill value. Proposed automation program for cable-spreading, which is coded cable and raceway, can calculate the overfill value and raceway change. Some experiments are conducted so as to verify the proposed model, and as a result, implemented cable-spreading program is well performed.

키워드 : 케이블 포설, 오버필, 레이스웨이 프로토콜, 케이블 코드, 자동화

Key word : Cable spreading, Overfill, Raceway protocol, Cable code, Automation

접수일자 : 2014. 07. 10 심사완료일자 : 2014. 08. 06 게재확정일자 : 2014. 08. 21

* **Corresponding Author** Yang Sun Lee(E-mail:yslee48@gmail.com, Tel:+82-42-829-7638)

Division of Convergence Computer & Media, Mokwon University, Daejeon, 302-729, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2014.18.9.2229>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

최근 세계적으로 엄청난 양의 발전소 건설 사업들이 진행되고 있는 시점에서 케이블 포설을 위한 설계 및 케이블 발주는 시간적·인적 투자대비 비효율성을 갖는 구조를 가지고 있다. 발전소 전기설비 엔지니어링 분야의 특성상 관련된 케이블의 수량이 대략 4만 가지 이상에 달하여 현장설계 및 관리의 중요성을 갖지만, 케이블 포설 설계가 아직까지 수기로 진행되고 있어 케이블 부족 및 낭비와 같은 잦은 오류가 심각하다[1,2]. 따라서 발전소 전기설비 구축에 있어서 효과적인 케이블 포설 설계의 중요성이 대두되고 있으며, 이에 본 논문에서는 케이블 포설을 위한 자동화 방법을 제안한다. 즉, 기존의 수기로 작성되는 케이블 포설 설계 오류 및 이중 작업을 피하고, 케이블 포설 허용치를 재조명하여 효과적으로 케이블을 포설하는 자동화 방법을 제안하고자 한다.

본 논문에서는 발전소 전기설비 구간을 나타내는 레이스웨이(Raceway) 프로토콜[3,4]을 설계하고, 대표적인 케이블(Cable) 코드들에 대해 재정의 하였다. 특히 설계된 프로토콜을 기반으로 기존의 수기로 작성하였던 케이블 리스트 구성을 자동화 하는 기법을 제안하고자 한다. 본 논문의 구성은 2장에서 케이블 포설을 위한 Raceway와 Route의 개념을 설명하고, 3장에서는 대표적인 케이블의 코드를 정의하고, Raceway 프로토콜을 설계하였다. 4장에서는 구현된 케이블 포설 자동화 방법을 제시하고, 5장에서 결론을 맺는다.

II. 발전소 전기설비를 위한 케이블 포설 개념

발전소에서 효과적인 전기설비 및 케이블 포설의 개념은 그림 1과 같고, 각 번호들은 케이블 선로의 구간 번호를 의미한다. 또한 케이블 선로 구간이 Raceway이

그림 1. 발전소 전기설비 및 케이블 포설을 위한 레이스웨이 개념도

Fig. 1 The concept of raceway for the electrical equipment and the cable spreading in power plant

며[5,6], 하나의 케이블이 지나간 번호를 합쳐 Route라고 정의한다.

그림 1에서 Route type 1은 29, 35, 13 및 22번의 케이블 선로 구간을 지나가고 있으며, 병목구간에서는 포설된 케이블들의 꼬임 현상 및 케이블 포설량의 허용치가 초과되는 현상(Overfill)이 자주 발생된다. 따라서 케이블 포설 시 허용치 이상일 경우 다른 케이블 선로로 우회하여 케이블을 포설해야 한다[6,7].

III. Cable 코드 정의 및 Raceway 프로토콜 설계

발전소에서 사용하는 케이블 선로의 종류는 크게 Tray와 Conduit로 구별되며, 그림 2와 같다[8,9].

그림 2. 케이블 선로의 종류
Fig. 2 The type of cable line

그림 2와 같은 케이블 선로들에 포설되는 케이블의 수량은 수만 가지가 되고, 각 케이블들은 타입(Type), 케이블의 개수(Conductors), 크기(Size) 및 접지(Ground)의 특징을 가지고 있다[9,10]. 따라서 다양한 케이블 포설 설계 프로젝트에서 운영되는 케이블 종류들을 표준화하는 과정이 필요하다. 본 논문에서는 그림 3과 같이 케이블 코드의 프로토콜을 설계하였고, 표 1과 같이 케이블들의 주요 특징을 정규화 및 정의하였다.

그림 3. 케이블 프로토콜
Fig. 3 The designed cable protocol

그림 3과 같이 케이블 프로토콜의 4가지 주요 특징을 기반으로 표준화한 케이블 코드는 4자리의 Digit 수를 갖게 되고 각 자리 수는 1~9, A~Z의 표기를 갖는다. 또한 케이블 코드는 각 코드 자리 수 별 Type, No. of Conductors, Size 및 Ground 값들을 정의한다.

표 1. 케이블 코드 정의 예시
Table. 1 The samples of cable code definition

Code No.	Type	No. of Conductors	Size (Ground)
1	kV / POWER CABLE	1 / C	-
4	kV / POWER CABLE	4 / C	0.5 mm ²
8	:		
A	kV / CONTROL CABLE	12 / C	-
F	:	2 PR	-
S	kV / INSTRUMENT CABLE	2 T	1000 mm ²
:	:	:	:

케이블 선로 구간을 의미하는 Raceway 프로토콜은 그림 4와 같이 설계하였고, Unit, Area, Service Level, Serial No. 및 Raceway No.의 7byte로 구성하였다. 또한 설계된 Raceway 프로토콜을 기반으로 각 구성별 기능 정의를 그림 5에 나타내었다.

1 byte	1 byte	1 byte	2 byte	2 byte
Unit	Area	Service Level	Serial No.	Raceway No.

그림 4. 레이스웨이 프로토콜
Fig. 4 The designed raceway protocol

Raceway 코드 설계 예로써 그림 5에 정의된 Raceway 코드를 기반으로 케이블선로 ‘2GA01TD’가 있다면, 아래와 같은 구조를 갖는 Tray 형 선로를 의미한다.

- Unit No.: 2(GTG#2 BLDG.)
- Area Code: GAS turbine
- Service Level Code: 345kV Cables
- Serial No.: 01
- Raceway No.: 100×450mm Ladder type

1) UNIT CODE

Ex) 0 : COMMON
1 : GTG#1 BLDG.
2 : GTG#2 BLDG.
3 : BOP AREA

2) AREA CODE

Ex) C : CONTROL BUILDING
G : GAS TURBINE
H : HRSG. AREA
S : STEAM TURBINE
T : COOLING TOWER

3) SERVICE LEVEL CODE

Ex) A : 345kV CABLES
B : 154kV CABLES
C : 6.9kV CABLES
H : 480V LOAD CENTER CABLES
K : 480V POWER FROM MOTOR CONTORL CENTER
L~N : AC AND DC CONTROL
(220V, 110V AC/125V, 24V DC)
X-X : INSTRUMENTATION AND ANALOG COMPUTER INPUT

4) SEEIAL NO.

Ex) 01 : Serial No.
02 : Serial No.

5) RACEWAY NO.

*** HOT DIP GALVANIZED CONDUIT**

RA : 22mm (3/4")
RB : 28mm (1")
RC : 36mm (1 1/4")
RD : 42mm (1 1/2")
RE : 54mm (2")
RF : 70mm (2 1/2")
RG : 82mm (3")
RJ : 104mm (4")
RK : 125mm (5")
RL : 150mm (6")

*** RIGID POLYVINYL CHLORIDE THIN PIPE**

DK : 125mm (5")
DL : 150mm (6")
DM : 200mm (8")

*** UNPLASTICIZED POLYVINYL CHLORIDE CONDUIT**

PA : 22mm (3/4")
PB : 28mm (1")
PC : 36mm (1 1/4")
PD : 42mm (1 1/2")

*** GALVANIZED STEEL TRAY**

TA : 100 x 150mm LADDER TYPE
TB : 100 x 200mm LADDER TYPE
TC : 100 x 300mm LADDER TYPE
TD : 100 x 450mm LADDER TYPE
TE : 100 x 600mm LADDER TYPE
TF : 150 x 150mm LADDER TYPE
TG : 150 x 300mm LADDER TYPE
TH : 150 x 450mm LADDER TYPE
TJ : 150 x 600mm LADDER TYPE
TK : 150 x 750mm LADDER TYPE
TL : 100 x 750mm LADDER TYPE
TS : 150 x 150mm SOLID BOTTOM TYPE
TT : 150 x 200mm SOLID BOTTOM TYPE
TU : 150 x 300mm SOLID BOTTOM TYPE
TV : 150 x 450mm SOLID BOTTOM TYPE
TW : 150 x 600mm SOLID BOTTOM TYPE
TX : 150 x 750mm SOLID BOTTOM TYPE

*** UNPLASTICIZED POLYVINYL CHLORIDE CONDUIT**

PE : 54mm (2")
PF : 70mm (2 1/2")
PG : 82mm (3")
PH : 104mm (4")

그림 5. 레이스웨이 코드 정의
Fig. 5 The raceway code derivation

IV. Raceway Fill(%) 계산 알고리즘

케이블 선로에 케이블을 포설하는 과정에서 포설 허용치 설정 및 계산은 매우 중요하며, 케이블 Type인 Tray와 Conduit 인 경우에 따라 허용치 설정 및 계산 과정은 각각 다르다. 그림 6과 같이 Raceway 코드가 '2GK09TD' 이고 2가닥의 케이블이 포함되어 있을 때 Tray인 경우의 기준치 계산은 표 2와 같다.

NO	CABLE_NUMB	TYP...	Volt(kV)	Size	Cable O.D
4	WONWOO-04	838	0.6/1kV	FR-CV 3C/4+(4)	14
5	WONWOO-05	83C	0.6/1kV	FR-CV 7C/25...	23

NO. 4

NO. 5

Route : 2GK09TD

Cable 가닥 수 : 2 개

변경 전 Overfill : 4.22%

변경 전 SoA/면적 : 569.41/13500.00

그림 6. '2GK09TD' 코드인 경우의 Fill(%) 계산 예시
Fig. 6 The example of Fill(%) calculation in case of '2GK09TD' code

표 2. Tray인 경우의 Fill(%) 계산 과정
Table. 2 The Fill(%) calculation for tray

	Width (mm)	Height (mm)	SoA	30%(40%) of SoA	
TD	450	100	45,000	30%일 때	18,000
				40%일 때	13,500
	Cable Code	Cable O.D	Area of Circle		
Cross Sectional Areas	838	14.0	154		
	839	15.5	189		
	83A	17.5	241		
	83B	19.5	299		
	83C	23.0	415		
	83D	25.5	511		
	:	:	:		

그림 6에서와 같이 케이블의 O.D(outer diameter)가 각각 14, 23mm 인 두 개의 케이블이 '2GK09TD' 구간에 포설될 때 Fill(%) 계산 과정은 식 1과 같다.

$$Overfill = 100 \times \left(\sum_{n=1}^N AoC_n \right) \quad (1)$$

here, $AoC = (\pi/4) \times D \times D$.

표 2에서 Raceway No.가 TD인 경우의 SoA(Sum of Area)가 40%일 때 기준 단면적은 13,500mm²이고, 케이블 O.D가 각각 14, 23mm 일 때 원단면적은 154와 415mm²이므로 식 1에 의해 아래와 같이 계산된다.

$$- ((154+415) / 13,500) \times 100(\%) = 4.22(\%)$$

케이블 선로가 Conduit인 경우는 케이블이 1가닥, 2가닥 및 3가닥 이상일 때 SoA가 각각 53%, 31%와 40%의 기준을 두고 Fill(%)이 계산되며, 표 3은 케이블의 지

름별로 AoC와 기준 값들이다.

표 3. Conduit인 경우의 Fill(%) 기준

Table. 3 The standard of Fill(%) calculation for conduit

Diameter (mm)	AoC	Cable 1가닥 (53%)	Cable 2가닥 (31%)	Cable 3가닥 이상(40%)
22	380	201	118	152
28	616	326	191	246
36	1018	539	316	407
54	2290	1214	710	916
70	3848	2040	1193	1539
82	5281	2799	1637	2112
104	8495	4502	2633	3398
:	:	:	:	:

V. 케이블 포설 자동화 프로그램 구현

본 논문에서 케이블 선로에 케이블을 포설하는 과정에서 현존하는 케이블들의 특징과 선로구간을 의미하는 Raceway를 코드화 하였고, 3절에서 설명하였다. 설계된 케이블 코드와 Raceway 프로토콜을 기반으로 Excel 자동화 기법을 이용해 케이블 포설 자동화 프로그램을 구현하였고, 그림 7과 같다. 그림 7에서 123번 케이블을 클릭하였을 때 케이블 Route에 대한 검증이

가능하고 6개의 Raceway 구간을 지나가고 있음을 확인할 수 있다. 각 Raceway 구간에 대한 Fill(%) 값을 알 수 있으며, ‘2GX05RC’와 ‘2GX06RC’ 구간에서 허용 기준치 값을 넘어간 것을 확인할 수 있다.

그림 7의 ‘174.77% 초과’ 버튼을 클릭하면 그림 8과 같은 Raceway 변경 및 SoA 검증 화면이 나타난다. 그림 8에서와 같이 ‘2GX05RC’ 구간에 포설된 케이블이 나타나며, 123번 케이블을 다른 Raceway 구간으로 우회하여 포설해야 한다. 즉, 그림 8에서 ‘2GX05RC’ 구간의 기준 면적이 $407.15mm^2$, 현재 포설된 SoA가 $711.57mm^2$ 로 Fill(%) 값이 초과되기 때문에 다른 구간으로 변경하여야 한다. 또한 기존 구성된 Raceway 코드들을 미리 확인 가능하도록 하였고, 신규로 추가할 수 있도록 구현하였다.

그림 9는 기준 Fill(%) 값보다 초과된 Raceway ‘2GX05RC’ 구간에서 123번 케이블을 ‘2GX05TV’ 구간으로 우회시키는 과정을 보이고 있다. 123번 케이블을 ‘2GX05TV’ 구간으로 이동시킬 때 해당 Raceway의 Fill(%)이 73.41%에서 74.16%로 증가하였고, 기준 Fill(%)을 충족하므로 케이블 포설을 위한 우회가 가능하다. 또한 Raceway ‘2GX05RC’ 구간의 Fill(%)이 174.77%에서 125.39%로 감소하였지만, 100%를 초과하므로 하나의 케이블을 ‘2GX05RC’ 구간에서 다른

그림 7. 구현된 케이블 포설 및 Fill(%) 계산 자동화 프로그램

Fig. 7 Implemented automation program of Fill(%) calculation for cable spreading

그림 8. 그림 7의 '174.77% 초과' 버튼을 클릭했을 때 화면
Fig. 8 The next screen after '174.77%' button click of Fig. 7

Raceway 구간으로 우회시켜야 한다. 그림 10은 최종적으로 기준대비 Fill(%)이 초과된 Raceway 구간의 케이블을 다른 Raceway 구간으로 우회하여 기준 Fill(%) 이 내로 만족시키는 과정이다.

본 논문에서 구현된 Fill(%) 계산 및 케이블 포설 자동화 프로그램은 상당히 많은 시간(최소 2달 ~ 몇 달)이 소요되었던 수기 작성 및 케이블 포설 설계 작업이 하루에서 일주일 이내로 시간적 투자대비 높은 효율성을 보이고 있다.

변경 전			변경 후		
R01	2GX05RC	174.77% 초과	R01	2GX05TV	74.16%
R02	2GX01TV	93.85%	R02	2GX01TV	93.85%
R03	2GX02TV	93.85%	R03	2GX02TV	93.85%
R04	2GX03TV	93.85%	R04	2GX03TV	93.85%
R05	2GX04TV	93.85%	R05	2GX04TV	93.85%
R06	2GX06RC	174.77% 초과	R06	2GX06RC	174.77% 초과

그림 10. Raceway 및 Fill(%)이 변경된 최종 화면
Fig. 10 The final screen of modified Raceway and Fill(%)

(변경 후) Route Information	(변경 전) Route Information
New Route : 2GX05TV	Cable No. : 123
선택한 Route Overfill 확인	Route : 2GX05RC
변경 전 Overfill : 73.41%	Cable 가닥 수 : 4 개
변경 전 SoA/면적 : 19821.09/27000.00	변경 전 Overfill : 174.77% 초과
변경 후 Overfill : 74.16%	변경 후 SoA/면적 : 510.51/407.15
변경 후 SoA/면적 : 20022.15/27000.00	변경 후 Overfill : 125.39% 초과

그림 9. Raceway 및 Fill(%) 변경 과정
Fig. 9 The process of Raceway and Fill(%) change

VI. 결 론

본 논문에서는 발전소 전기설비를 위해 케이블 특징을 코드화 하고, 케이블 선로 구간을 의미하는 Raceway 프로토콜을 설계하였다. 또한 케이블 코드와 Raceway 프로토콜을 기반으로 케이블 포설을 위한 시뮬레이션 프로그램을 구현하였고, Raceway 변경 및 Fill(%) 계산을 자동화 하였다. 기존의 케이블 포설 계획 및 설계하는 과정은 상당한 시간이 소요되고 잦은 오류로 인해

인적·시간적 투자가 많아 비효율적이다. 본 논문에서 구현된 케이블 포설 자동화 프로그램은 기존 방법의 단점을 최적으로 보완하였고, 특히 몇 달 이상의 시간 투자를 규모에 따라 하루에서 한 달 이내로 줄일 수 있어 발전소 전기설비 및 케이블 포설을 효과적으로 할 수 있을 것으로 사료된다.

향후, 본 논문에서 설계된 케이블 코드와 Raceway 프로토콜을 기반으로 케이블 종류별 드럼(Drum) 리스트 작성을 자동화하는 방법에 대해 연구할 예정이다. 현재, 케이블 발주에 앞서 드럼 크기별 리스트 작성이 수기로 진행됨에 따라 소소한 오류로 인해 현장에서 케이블 부족 및 낭비가 심하다. 따라서 드럼 리스트 작성을 최적화하는 알고리즘을 개발하고, 불필요한 오류 없이 자동화할 수 있는 프로그램을 구현하는 것을 목표로 한다.

REFERENCES

- [1] IEEE Std. 422-2012, *IEEE Guide for the Design of Cable Raceway Systems for Electric Generating Facilities*, IEEE, 2013.
- [2] Joseph V. Sheehan, Mark W. Earley, Jeffrey S. Sargent, John M. Caloggero and Timothy M. Croushore, "National Electrical Code 2002 Handbook," 9th ed., NFPA Pub., ch. 9, pp. 1087-1089, December 2001.
- [3] Committee Report, "Recommended practice on specific aspects of cable installation in power-generating stations," Power Delivery, IEEE Power&Energy Society, Volume. 4, Issue 3, August 2002.
- [4] IEEE Std. 690-1984, *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, 2002.
- [5] 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, 2005.
- [7] IEEE PES. Insulated Conductors Committee [Internet]. Available: <http://www.pesicc.org/iccWebSite/>.
- [8] National Fire Protection Association and Delmar, "NEC 2011 Handbook," 12th ed., NFPA Pub., December 2010.
- [9] G. W. Seman, D.A. Silver, R.A. Bush, and T. Kendrew, "Determination of Maximum Safe Pulling Lengths For Solid Dielectric Insulated Cables," in *Proceeding of IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, pp. 3172-3186, 2007.
- [10] IEEE Std. 1185-1994, *IEEE Guide for Installation Methods for Generating Station Cables*, IEEE Power & Energy Society, August 2002.

박기홍(Ki-Hong Park)

2010년 목원대학교 대학원 IT공학과 공학박사
 2010년 ~ 2012년 ㈜인코넥스 책임연구원
 2012년 3월 ~ 현재 목원대학교 융합컴퓨터미디어학부 교수
 ※관심분야: 영상처리, 컴퓨터비전, 패턴인식, 방재응용기술

강안나(An Na Kang)

2008년 목원대학교 대학원 IT공학과 공학박사
 2008년 3 ~ 2013년 8 목원대학교 조교수
 2013년 8월 ~ 현재 동국대학교 멀티미디어 공학과 교수
 ※관심분야: 전자 정보 통신, 보안, 공학교육, 인공지능

최효범(Hyo-Beom Choi)

1981년 서울대학교 공과대학 공학사
1990년 발송배전 기술사
1992년 건축전기설비 기술사
1984년~1993년 한국전력기술(주) 근무
1993년~현재 원우엔지니어링(주) 대표이사
※관심분야 : 발전소의 전기분야 설계

이양선(Yang Sun Lee)

2007년 목원대학교 대학원 IT공학과 공학박사
2012년 Graduated School of Engineering, Fukuoka Institute of Technology(FIT), Japan 공학박사
2007년~2009년 (주)휴메이트 기술연구소 기획팀장/책임연구원
2009년~2011년 조선대학교 정보통신공학과 연구교수
2012년~현재 목원대학교 융합컴퓨터미디어학부 조교수
※관심분야 : UWB, 차량-IT, 디지털 무선통신, 전파성능분석, USN