

# Analysis of Electrical System Related Incidents and Implications

Korea Institute of Nuclear Safety  
Department of Nuclear Safety  
Sungbaek Park





# Contents

**I**

**Introduction**

**II**

**Incident classification**

**III**

**Analysis results**

**IV**

**Implications**





# Introduction

## ◆ Background

- ✓ Analysis of nuclear power plant accidents is important in terms of accident prevention, and power plant safety can be improved through high-level analysis in each field.
- ✓ In the European Union, incident investigation reports are prepared by topic through EU JRC Clearinghouse reports to provide insight into preventing nuclear power plant accidents.
- ✓ However, there are no reports analyzing Korea's nuclear power plant incidents by specialty or major events. In this study, incident cases were analyzed and implications were derived, limited to the electrical system field.

순번	시설	일자	원전상태	사건제목	원자로 출력	발전기 출력	계통	원인	정지유형	등급
11	고리3호기	2023-07-08 09:55	가동	고리3호기 출력증가 운전 중 주급수펌프 정지에 의한 보조급수펌프 자동기동	14 %	0 MWe	2차	기계 결함	없음	0
12	한빛5호기	2023-06-28 10:40	가동	한빛5호기 계획예방정비 중 역지밸브 힌지부 관통결함에 의한 원자로냉각재 누설	0 %	0 MWe	1차	기계 결함	없음	0 (잠정)
13	한울2호기	2023-04-21 10:14	가동	한울2호기 터빈건물 내 스파크 발생 및 작업용 가림막 소손	0 %	0 MWe	2차	전기 결함	없음	-
14	월성2호기	2023-04-05 10:34	가동	월성2호기 계획예방정비 중 등급4전원 모선 인입차단기 개방에 의한 예비디젤발전기 #2 자동기동	0 %	0 MWe	2차	인적 오류	없음	1
15	한빛3호기	2023-01-05 11:41	가동	한빛3호기 4.16kV 안전모선 B계열 저전압에 의한 비상디젤발전기 자동기동	100 %	1048 MWe	1차	계측 결함	없음	0

[Opis Classification example]



# Introduction

## ◆ Database(Electrical System Related)

- ✓ Among the 780 incidents that occurred between 2000 and 2022 in the Nuclear Power Plant Safety Operation Information System (OPIS), 104 power system-related incidents were analyzed. Power-related incident cases were limited to incidents that were caused by power equipment or had an impact on power equipment due to the effects of the event. Classified into a total of 8 categories, including faulty devices, direct causes, root causes, and electrical phenomena, and created a database.

순번	시설	일자	사건제목	전기관련 여부	SBO/LOOP/Essential loss	발생소상태	사건시점	고장 기기	직접원인	전기적현상	근본원인	원자로 정지, EDG 기동 여부	사건개요
3	고리3호기	2022-12-22	고리3호기 발전기 여자 변압기 고압측 케이블 접속부 손상에 의한 터빈/발전기 및 원자로 자동정지	0		출력운전	정상운전	케이블	전기	절연불량	설계제작사공	원자로 정지	2022년 12월 22일(목) 08시24분경, 정상운전 중이던 고리3호기에서 발전기 보조계전기(지락과전압계전기, 과여자계전기)가 작동하여 터빈발전기가 자동정지되었고, 이의 연동신호로 원자로가 자동정지되었다. 또한, 원자로정지 직후 중기발생기 저-저 수위에서 보조급수펌프가 설계된 대로 자동기동되어 냉각수를 공급하였다.
4	신고리1호기	2022-09-08	태풍 한남노의 영향으로 인한 신고리1호기 터빈/발전기 장치 및 고압부 상 경비를 위한 원자로 자동정지	0		출력운전	정상운전	IPB/GIB	환경	성락	외부(태풍)	원자로 정지	2022년 9월 6일(화), 06:01경, 태풍 한남노의 영향으로 신고리1호기 발전단선로 C상 비출자중계전기(87)가 동작하여 터빈/발전기가 정지되고 원자로 출력이 55% 수준으로 감소하였다. 원인 점검 결과, 비안전설비인 발전단선로 겐트리타워 접지선 및 겐트리타워 구조물에 성락 흔적과 가스절연모선(GIB, Gas Insulated Bus) 인출 고압부상 손상이 확인
5	신월성2호기	2022-09-08	신월성2호기 제어방구 동진원계를 출력차단기 개함에 따른 원자로 자동정지	0		출력운전	정상운전	MG-SET	전기	과전류	HF	원자로 정지	2022년 9월 8일(목), 10:39경, 신월성2호기 정상운전(100%) 중 전동발전기(M-G Set 01N, 02N) 출력차단기가 개방되어 원자로 원자로가 정지되었다. 사건 조사결과, 1) M-G Set 02N 전압상승 운전조치 중 보조계전기 작동신호에 의하여 02N 출력차단기가 개방되었고, 2) 단독운전 중인 M-G Set 01N과의 전기적 동기조건이 다른 상태에서 개방된 02N 출력차단기를 재폐기하여 따라, 3) 이외의 과전류 과전류계전기(351)가 작동하여 터빈발전기가 정지되었고, 이와 연동된 원자로보조신호에 의해 원자로가 자동정지 되었다. 또한 이후 시간경과 과정에서 대기보조변압기 보조신호 발생으로 소외전원 공급이 중단됨에 따라 대기중이던 비상디젤발전기 2대가 모두 자동기동되어 해당 안전모선에 전력을 공급하였다.
6	고리2호기	2022-06-03	고리2호기 비안전모선 인입차단기 손상에 의한 터빈발전기 및 원자로 자동정지	0	LOOP	출력운전	정상운전	차단기	전기	접촉불량	설계제작사공	원자로 정지 및 EDG 기동	2022년 6월 3일(금) 18시 05분경, 고리 2호기 정상운전 중 발전소 소내보조변압기 보조중 과전류계전기(351)가 작동하여 터빈발전기가 정지되었고, 이와 연동된 원자로보조신호에 의해 원자로가 자동정지 되었다. 또한 이후 시간경과 과정에서 대기보조변압기 보조신호 발생으로 소외전원 공급이 중단됨에 따라 대기중이던 비상디젤발전기 2대가 모두 자동기동되어 해당 안전모선에 전력을 공급하였다.
9	한울6호기	2022-03-04	한울6호기 안전모선(A) 저전압에 의한 비상디젤 발전기 자동기동	0		모드없음	시험 또는 정비중	Grid	환경	전압저하	외부(산불)	EDG 기동	사건조사 결과, 소내보조변압기 보조중 과전류계전기 작동은 비안전모선(M1)으로의 인입차단기 손상에 의해 발생하였고, 인입차단기 손상으로 차단기와 차단기회 복식 가 져 2022년 3월 4일(금), 14:21경, 계획예방정비 중이던 한울6호기에서 4.16kV 안전모선(A 계열) 저전압 신호가 발생함에 따라 대기 중이던 비상디젤발전기가 자동으로 기동되어 해당안전모선에 전력을 공급하였다. 원인 점검 결과, 출진지역 산불로 일부 소외 송전선로가 단선되었고, 이의 영향으로 한울6호기 소외전력계통 및 안전모선의 전압이 저하됨에 따라 저전압계전기가 작동하여 비상디젤발전기가 자동기동된 것으로 확인되었다.

[Incident DB for Electrical causes]



## Incident classification

---

- ✓ There are 8 incident classifications, divided into SBO/LOOP/loss of essential power system, power plant status, circumstances, direct cause, root causes, consequences, type of equipment failed and electrical phenomena.
- ✓ Although only one representative electrical phenomenon is indicated, there are many cases where several phenomena occurred simultaneously. (e.g. ground fault + overvoltage, etc.)
- ✓ The classification criteria were created by referring to the JRC Clearinghouse reports of EDG-related incident, LOOP and SBO-related incident, and essential power system loss incident.
- ✓ Other criteria such as electrical phenomena are added and incident summaries included in the database.

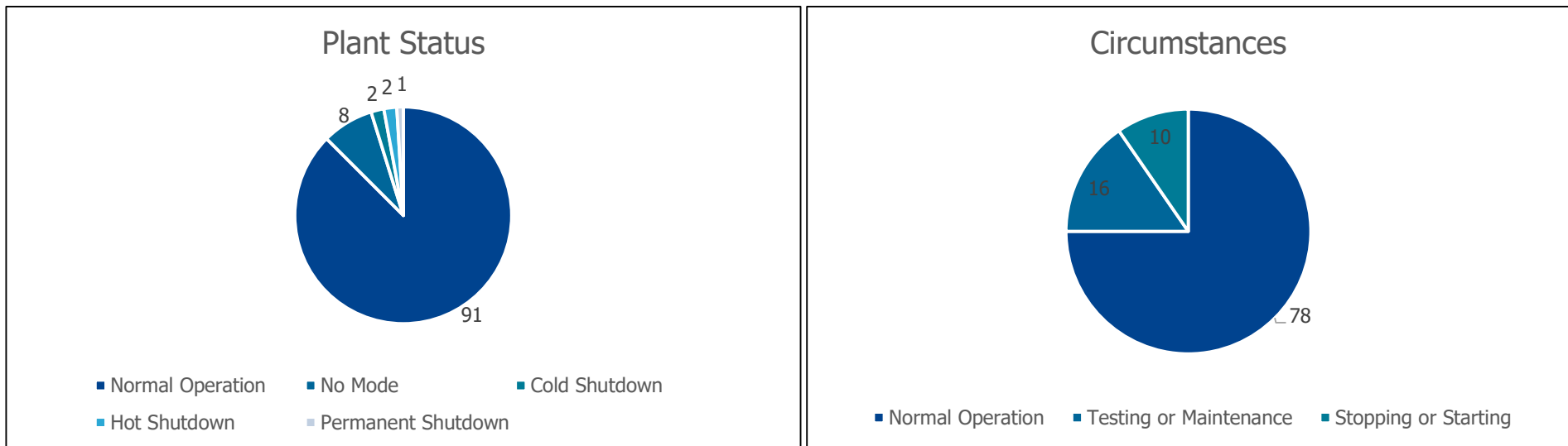
# Analysis results

SBO/LOOP/ESSENTIAL LOSS			TYPE OF EQUIPMENT FAILED/CONCERNED		
Others	94	90%	Grid	16	15%
LOOP	8	8%	Relay	14	13%
Loss of essential power system	2	2%	Breaker	11	11%
SBO	1	1%	Transformers	10	10%
PLANT STATUS			Cable	8	8%
Normal Operation	91	88%	etc	8	8%
No mode	8	8%	Generator	7	7%
Cold shutdown	2	2%	SWYD	6	6%
Hot shutdown	2	2%	CT/PT	6	6%
Permanent shutdown	1	1%	IPB/GIB	5	5%
CIRCUMSTANCES			MG-SET	4	4%
Normal operation	78	75%	Motor	3	3%
Testing or maintenance	16	15%	EDG	2	2%
Stopping or starting	10	10%	Switch	2	2%
DIRECT CAUSE OF EVENT			Inverter	1	1%
Electrical deficiency	78	75%	GCB	1	1%
Environmental	12	12%	ELECTRICAL PHENOMENA		
Human factors	9	9%	Ground fault	33	32%
I&C system failure	4	4%	Loss of voltage	30	29%
Mechanical deficiency	1	1%	Others	12	12%
ROOT CAUSES			Flashover	9	9%
After construction	48	46%	Overcurrent	6	6%
Design, production and construction	26	25%	Short circuit	4	4%
External (typhoon)	12	12%	Poor insulation	4	4%
Human factors	10	10%	Poor contact	4	4%
External (lightning)	5	5%	Overvoltage	1	1%
External (wildfire)	3	3%	Voltage drop	1	1%
CONSEQUENCES					
Reactor shutdown	71	68%			
EDG start-up	18	17%			
Reactor shutdown and EDG start-up	8	8%			
Others	7	7%			

[Extract from NRC RG 1.180 rev.0]

## Analysis results

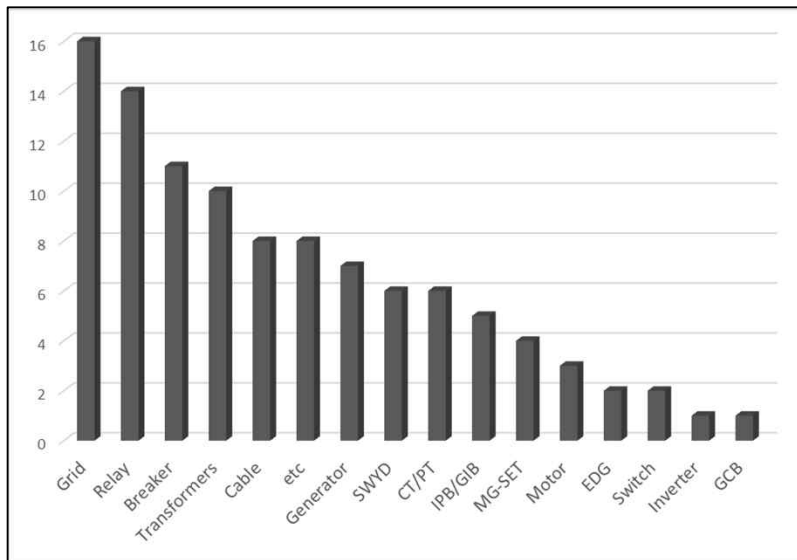
- ✓ The majority of the incidents occurred during normal operation, accounting for 91 (88%) and 78 (75%) respectively, concerning plant status and circumstance. Of these, 78 (75%) were due to electrical causes. The type of equipment failed were numerous and diverse, with the following order: grid, relay, and circuit breaker. Electrical phenomena constituted the majority, with 33 cases of ground faults (32%) and 30 cases of loss of voltage (29%).



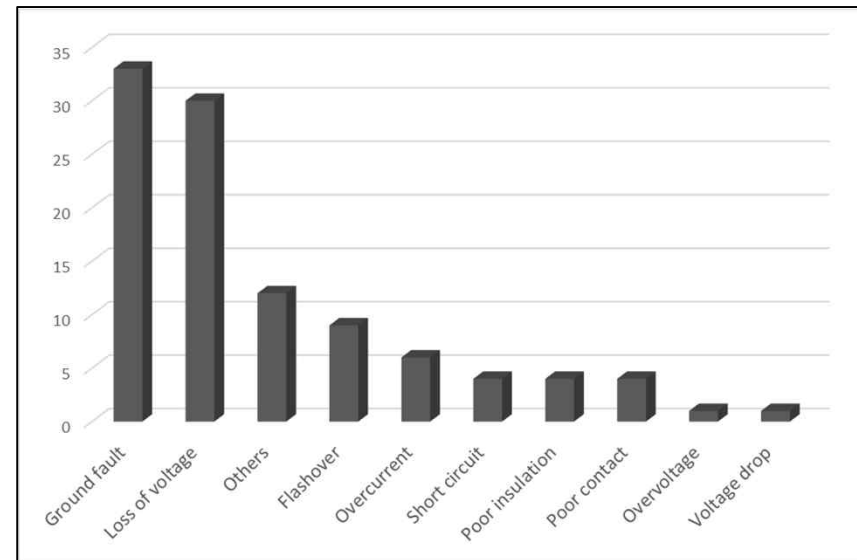


## Analysis results

- ✓ The results of classifying each event by representative electrical phenomenon were high, with 33 cases of ground fault (32%) and 30 cases of voltage loss (29%), followed by other causes including false signals, flashover, and overcurrent. Ground faults, poor insulation, overcurrent, and poor contact are likely to occur together, but are classified as representative phenomena in incident investigation reports.



[Number of electrical-related incidents by type of equipment failed/concerned]



[Number of electrical-related incidents by Electrical phenomena]





## Implications

- ✓ Five out of seven LOOP incidents have occurred due to typhoons since 2020, so preventive measures against typhoons are necessary.
- ✓ Both incidents of loss of essential power systems occurred in off-site power grids, and it is important to review the impact of external transients on essential power systems.
- ✓ Out of the 16 incidents caused by transmission line failures, 12 were caused by external events (typhoons, lightning, etc). Among these, it is presumed that fault currents flow into the on-site power system due to lightning strikes, but there are some incidents where it is difficult to clearly identify the cause.
- ✓ Out of the 11 incidents classified as circuit breaker failures, 6 cases were due to mechanical causes such as compression springs, tulip connections, and lubrication of driving parts, and 5 cases were due to electrical causes such as control cards and manual circuit false signals. There were three incidents due to poor contact at the tulip connection, including the transformer.
- ✓ Among the 10 incidents classified as transformer failures, insulating oil- related incidents were the most common, with 4 cases of gas in oil, 2 cases of insulating oil leakage, and 2 cases of poor contact at the tulip connection.
- ✓ Out of the 11 cases where transfer failed, 5 were caused by failure of the circuit breaker itself, 2 were caused by errors in design logic, and 4 were caused by unsatisfactory input conditions.

# THANK YOU



Independence



Transparency



Excellence



Responsibility