Probabilistic Safety Assessment (PSA)

การประเมินความปลอดภัย แบบใช้ความน่าจะเป็น

ดร.ชลกานต์ เอี่ยมสำอางค์

สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

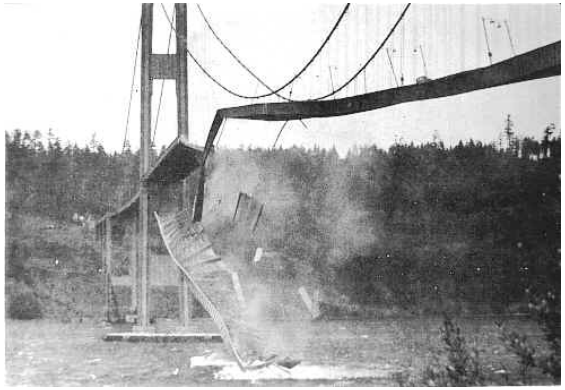
“Failure” คืออะไร?

Failure แปลเป็นไทยว่า **ความวิบัติ / ความล้มเหลว / ความเสียหาย**

ในทางวิศวกรรม

Failure = a state of inability to perform a normal function

(สถานะที่ไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ)



“Failure Analysis” คืออะไร?

Failure analysis is the process of collecting and analyzing data to determine the **cause of a failure**, often with the goal of determining **corrective actions** or **liability**

การวิเคราะห์ความวิบัติ คือ กระบวนการการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อค้นหาว่าอะไรคือ **สาเหตุของ failure** โดยทั่วไปจะมีจุดมุ่งหมายเพื่อ **หาวิธีแก้ไข** หรือหา **ผู้รับผิดชอบ**

“Reliability” คืออะไร?

“The probability that an item will perform a required function without failure under stated **conditions** for a stated **period of time.**”

“ความน่าจะเป็น ที่สามารถทำงานได้ตามที่ต้องการ โดย ไม่มี failure ภายใต้ **สภาพแวดล้อม** ที่กำหนด และ ภายใน **เวลา** ที่กำหนด”

เพราะของทุกอย่างจะต้องเสื่อมสภาพลง การทำ Reliability Analysis คือการตอบคำถามที่วิศวกรทุกคนจะถูกถามอยู่เสมอคือ “อุปกรณ์ หรือ เครื่องมือ ชิ้นนี้จะใช้ได้อีกนานแค่ไหน?”

วิศวกรรม Reliability

การที่จะประมาณอายุของ material / device ได้ สิ่งสำคัญคือต้องเข้าใจ physics of failure ของกระบวนการที่ทำให้สิ่งนั้นเสียหาย จึงจะสามารถพัฒนากระบวนการ วิธีการป้องกันไม่ให้เสียหาย หรือให้เกิดขึ้นน้อยครั้งที่สุด

Reliability Engineering เป็นพื้นฐานสำคัญของ product design ทั้งทาง mechanical, electrical, และ material selection

Reliability ต่างจาก **Quality** ตรงที่ Quality จะดูที่คุณภาพของสิ่งของเมื่อของสิ่งนั้นยังไม่ได้ถูกใช้ (time = 0) แต่ Reliability จะดูที่การเสื่อมสภาพ (degradation) ตามเวลาการใช้งาน

ดังนั้น Reliability Engineering จึงเน้นไปที่การวัดและโมเดล degradation rate และ time to failure

นิยามที่เกี่ยวกับ Failure

Failure Mode = ลักษณะของความเสียหาย

Failure Mechanism = กระบวนการที่ทำให้เกิดความเสียหาย

Root Cause = สาเหตุหลักที่เป็นจุดเริ่มต้นให้เกิดกระบวนการความเสียหาย

- Product failure ความเสียหายที่ชิ้นส่วนสำคัญ (e.g., breakage of a critical part of a product)
- Process failure ความเสียหายที่กระบวนการผลิต (e.g., a manufacturing process fails to achieve the intended effect)
- Design failure ความเสียหายที่การออกแบบ (e.g., many products fail prematurely)

ผลจากความเสียหายทางวิศวกรรม: Case I

เครื่องบิน De Havilland Comet (1949)

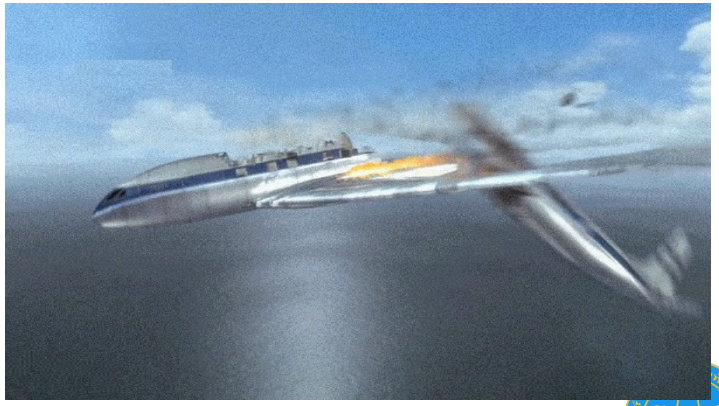
เครื่องบินพาณิชย์ลำแรก มีผู้โดยสาร 36 คน

แบบ prototype 3 แบบ ที่มีการชนทั้งหมด 8 ครั้ง ซึ่งทำให้ไม่ได้รับอนุญาตให้บินอีกต่อไป

Failure Mode: Hull Structure Failure

Failure Mechanism: High Frequency Fatigue

Root Cause: Design Error, Material Selection, and Improper Qualification of Materials.



ผลจากความเสียหายทางวิศวกรรม: Case II

เรือ Titanic (1912)

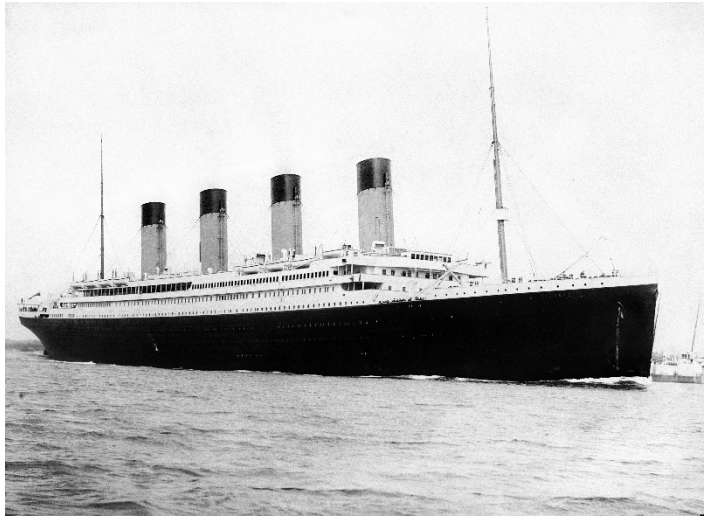
Failure Mode: Hull rupture

Failure Mechanism: Brittle Fracture of Rivets and Hull Plates

Root Causes:

- การเลือกวัสดุที่ไม่คำนึงถึง ductile-brittle transition ที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ
- ความผิดพลาดของมนุษย์ในการดำเนินการของระบบ
- ความผิดพลาดในการออกแบบ Rudder Control และ Hull.

ผลกระทบ: ผู้โดยสาร 1517 คนเสียชีวิต



ผลจากความเสียหายทางวิศวกรรม: Case III

สะพาน Tacoma Narrows (1940)

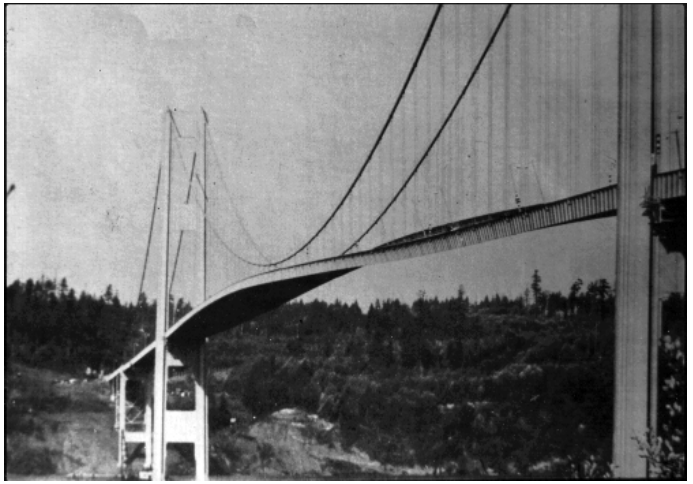
Steel Suspension Bridge with Twin Towers ยาว 1.5 กิโลเมตร

Failure Mode: Structural Collapse

Failure Mechanism: Excessive Deformation of Structural Members

Root Cause:

ความผิดพลาดในการออกแบบ → Failure to recognize vertical effects of wind loads resulting in transverse oscillations.



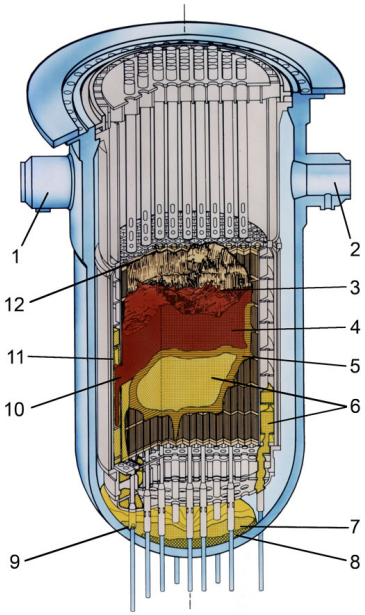
ผลจากความเสียหายทางวิศวกรรม: Case IV

อุบัติเหตุ Three Mile Island (1979)

แกนเครื่องปฏิกรณ์ของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศสหรัฐอเมริกาหลอมละลายบางส่วนและมีการปล่อยสารกัมมันตรังสีออกสู่สิ่งแวดล้อม

Failure: แกนหลอมเนื่องจากขาดน้ำหล่อเย็นเพราะว่ามี relief valve ที่เปิดค้างอยู่

Root Cause: ความผิดพลาดของเจ้าหน้าที่เดินเครื่องที่ไม่รู้สาเหตุความผิดปกติ เนื่องจากไม่มีการฝึกฝนและการออกแบบห้องเดินเครื่องที่ดีทำให้ไม่สามารถแก้ไขสถานการณ์ได้ทันเวลา



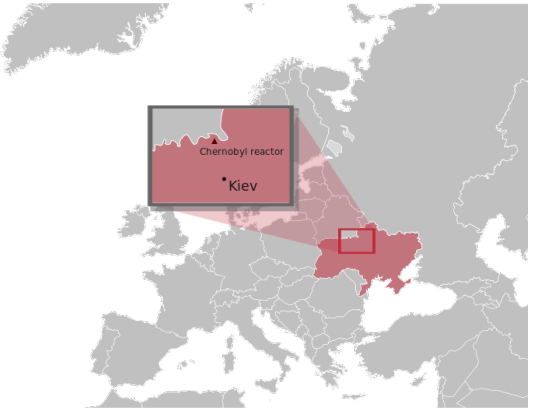
ผลจากความเสียหายทางวิศวกรรม: Case V

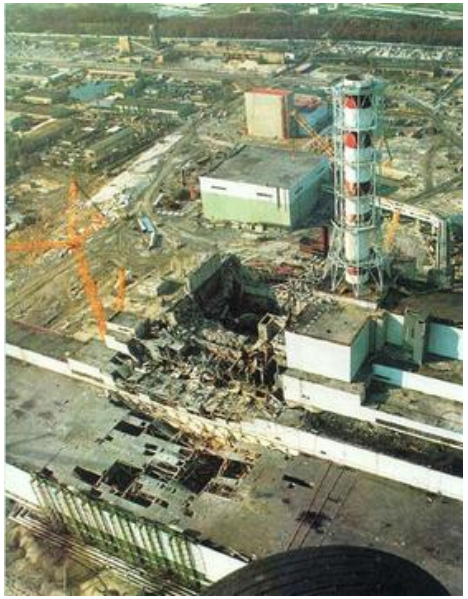
ภัยพิบัติ Chernobyl (1986)

แกนเครื่องปฏิกรณ์ของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศยูเครนหลอมละลายจนเกิดการระเบิดและมีการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีเป็นจำนวนมาก

Failure: ปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่ควบคุมไม่ได้เนื่องจากหลายปัจจัย

Root Cause: การออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ที่มีข้อบกพร่องและความผิดพลาดของเจ้าหน้าที่ในการทดสอบการทำงานในขณะที่ปิดระบบรักษาความปลอดภัยสำคัญ





ผลจากความเสียหายทางวิศวกรรม: Case VI

ภัยพิบัติ Fukushima Daiichi (2011)

แกนเครื่องปฏิกรณ์ของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศญี่ปุ่นหลอมละลายจนเกิดการระเบิดจากไฮโดรเจนและมีการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสี

Failure: คลื่นสึนามิจากแผ่นดินไหวทำให้ไม่มีกระแสไฟจากภายนอก และเครื่องผลิตไฟสำรองทำงานไม่ได้ ทำให้แกนเครื่องไม่ได้รับการหล่อเย็นเนื่องจากขาดไฟฟ้าในการทำงานของปั๊มน้ำ

Root Cause: ขาดการออกแบบที่ดีและการปรับปรุงเพื่อป้องกันภัยธรรมชาติที่อาจเกิดขึ้น

การวิเคราะห์ความปลอดภัย (safety analyses)

- **Deterministic Safety Analysis** (การประเมินความปลอดภัยแบบดีเทอมินิสติก) :
  ถ้ามีอุบัติเหตุเกิดขึ้น ผลกระทบจะต้องสามารถรับได้
  คือการรวบรวมอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นตามที่ออกแบบป้องกัน และแสดงว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นจะไม่เกินข้อกำหนดทางความปลอดภัย

- **Probabilistic Safety Analysis** (การประเมินความปลอดภัยแบบใช้ความน่าจะเป็น) :
  ถ้ามีอุบัติเหตุเกิดขึ้น ผลกระทบอาจจะไม่สามารถรับได้ ได้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดขึ้นต้องมีค่าน้อยมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้
  คือการรวบรวมเหตุการณ์เริ่มต้นที่อาจเกิดขึ้นและเหตุการณ์ที่ตามมา แล้วคำนวณว่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดความเสียหายต่อระบบไม่เกินข้อกำหนดทางความปลอดภัย

การประเมินความปลอดภัยแบบใช้ความน่าจะเป็น Probabilistic Safety Assessment (PSA)

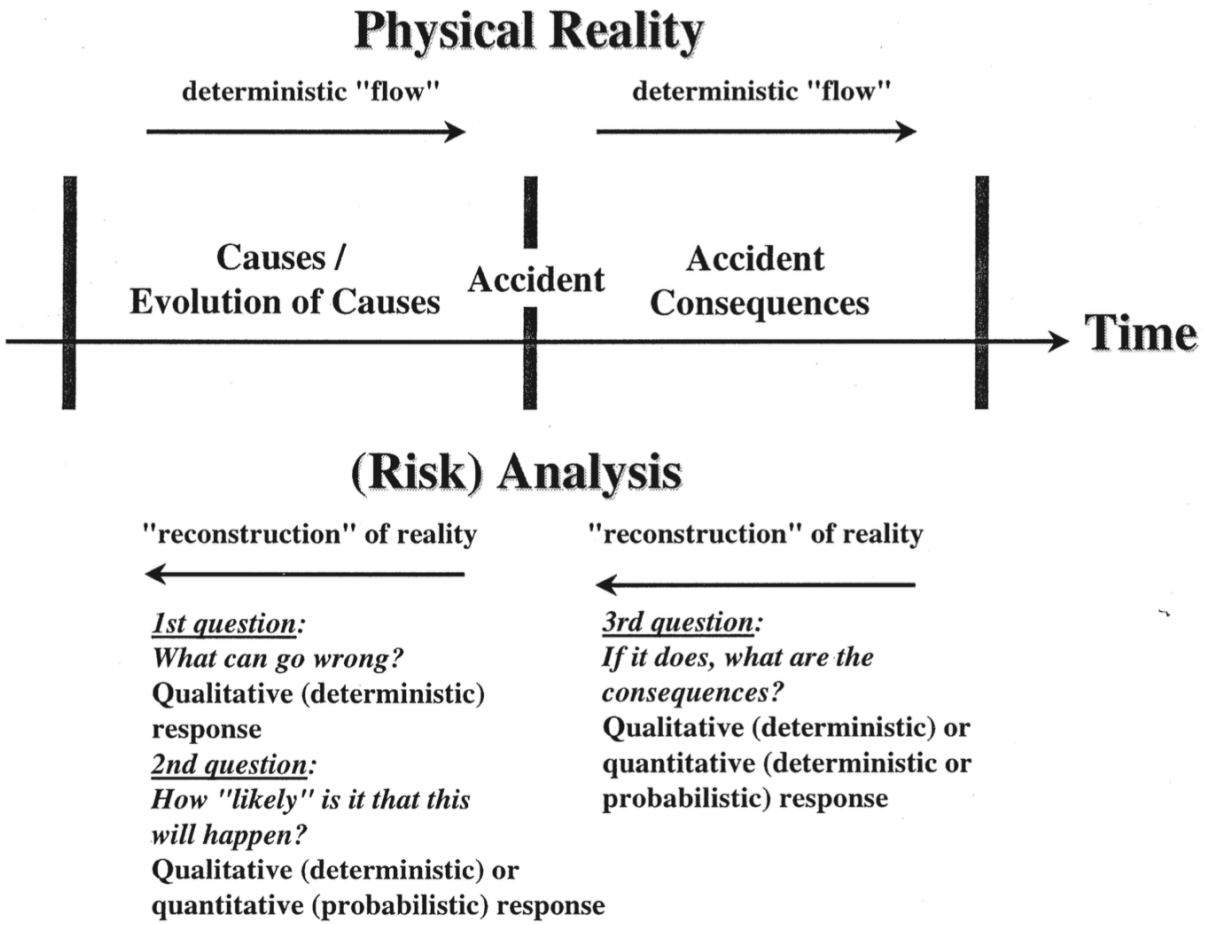
การประเมินความปลอดภัยแบบใช้ความน่าจะเป็น (Probabilistic Safety Assessment; PSA) เป็นเทคนิคการประเมินค่าความเสี่ยงในการทำงานของระบบวิศวกรรมที่ซับซ้อนและระบบมีโอกาสส่งผลกระทบให้เกิดความเสียหายอย่างมาก เช่น โรงไฟฟ้านิวเคลียร์

- เพื่อคำนวณค่าความถี่จะเกิดความเสียหายหลัก เช่น ความถี่ที่แท่งเชื้อเพลงเกิดความเสียหาย (Core Damage Frequency; CDF) และระบุถึงลำดับเหตุการณ์ที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุ (accidence sequence)
- ระบุส่วนประกอบสำคัญที่เมื่อใช้ไม่ได้ จะส่งผลกระทบต่อ CDF
- ระบุความเชื่อมโยง (dependency) ระหว่างส่วนประกอบและระบบที่ส่งผลต่อ CDF
- จัดลำดับความสำคัญของส่วนประกอบและลำดับเหตุการณ์
- ประเมินข้อกำหนดทางเทคนิคและขีดจำกัดการใช้งานระบบ

การประเมินความปลอดภัยแบบใช้ความน่าจะเป็น Probabilistic Safety Assessment (PSA)

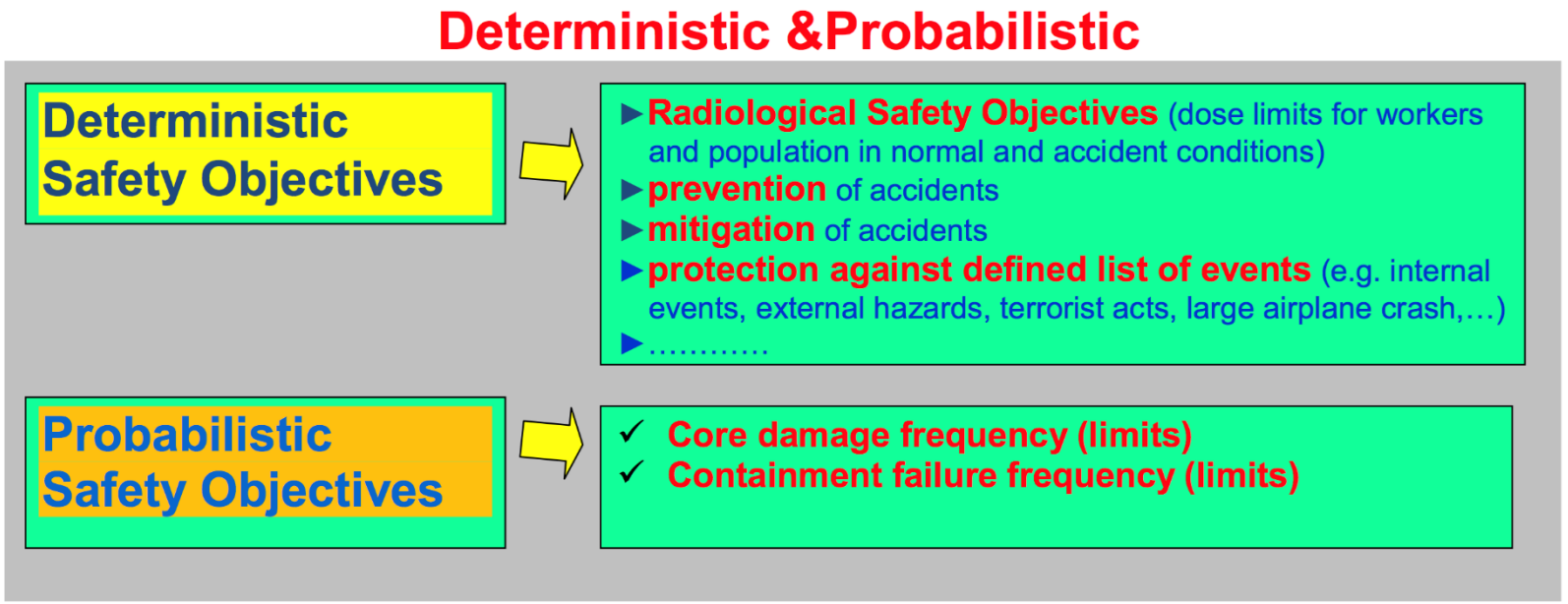
- คำถาม:
  - อะไรคือเหตุการณ์เริ่มต้นที่ทำให้เกิดความเสียหาย (initiating events)?
  - ความน่าจะเป็นที่เหตุที่ทำให้เกิดความเสียหายจะมีอยู่ต่อไป?
  - อะไรคือผลกระทบ?
- เหตุการณ์เริ่มต้นความเสียหาย (initiating events):
  - เหตุการณ์ภายใน (Internal events)
  - อุบัติเหตุภายใน (Internal hazards) (ไฟไหม้ น้ำท่วม ฯลฯ)
  - อุบัติเหตุภายนอก (External hazards) (แผ่นดินไหว เครื่องบินพุ่งชน ฯลฯ)

ความจริงทางกายภาพ vs. การประเมินความเสี่ยง



วัตถุประสงค์ของ Deterministic และ Probabilistic

การวิเคราะห์ทั้งสองวิธีถูกใช้ควบคู่กันเพื่อใช้ในการออกแบบ วิเคราะห์และอธิบาย ถึงระดับความปลอดภัยของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์



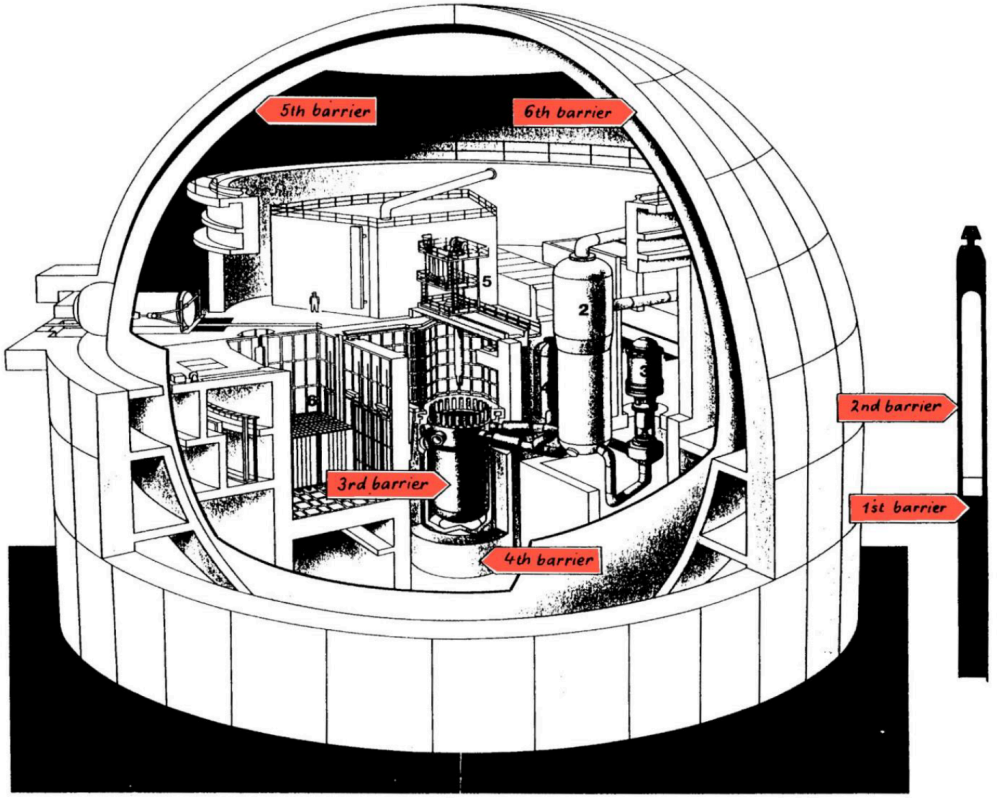
ความแตกต่างระหว่าง Deterministic และ Probabilistic

หัวข้อ	การวิเคราะห์แบ Deterministic	การวิเคราะห์แบ Probabilistic
เหตุการณ์เริ่มต้น (initiating events)	อุบัติเหตุตามที่ออกแบบ (design basis accidents)	อุบัติเหตุตามที่ออกแบบ (design basis accidents) และที่เกินกว่านั้น (beyond design basis accidents)
ระบบเพื่อความปลอดภัย	เฉพาะความเสียหายเดียว (single failure criterion)	ทั้งความเสียหายเดียวและหลายความเสียหายพร้อมกัน (multiple failure criterion)
การตอบสนองต่อเหตุการณ์โดยเจ้าหน้าที่เดินเครื่อง	สันนิษฐาน เช่น ไม่มีการการดำเนินการใด ๆ ภายใน 30 นาทีแรก และดำเนินการทุกอย่างถูกต้องหลังจากนั้น	วิเคราะห์การทำงานของเจ้าหน้าที่ตามจริง
หลักการพื้นฐาน	Conservative	Realistic (เท่าที่สามารถทำได้)

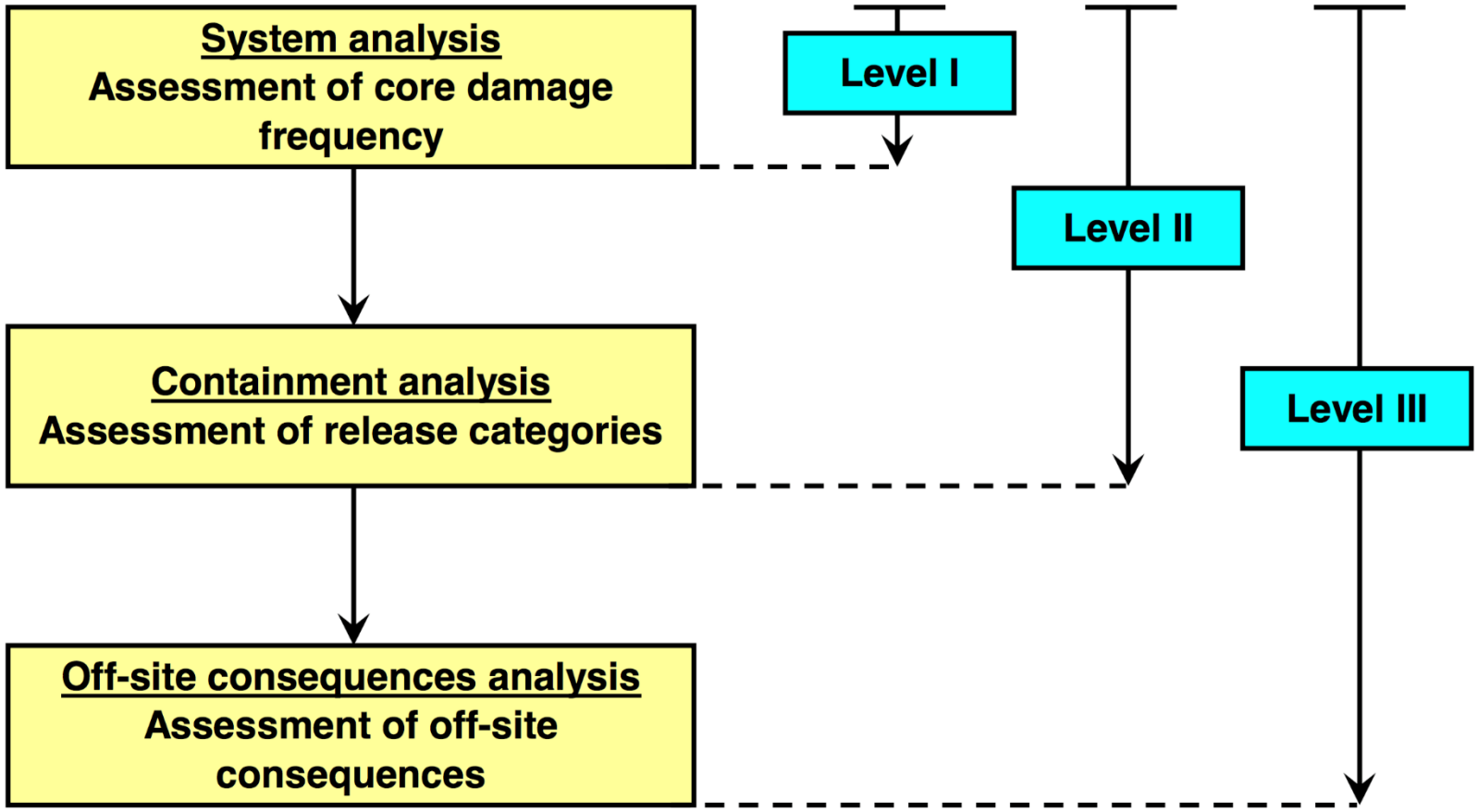
การป้องกันหลายชั้น (Barrier Concept)

การป้องกันการปลดปล่อยสารกัมมันตรังสี

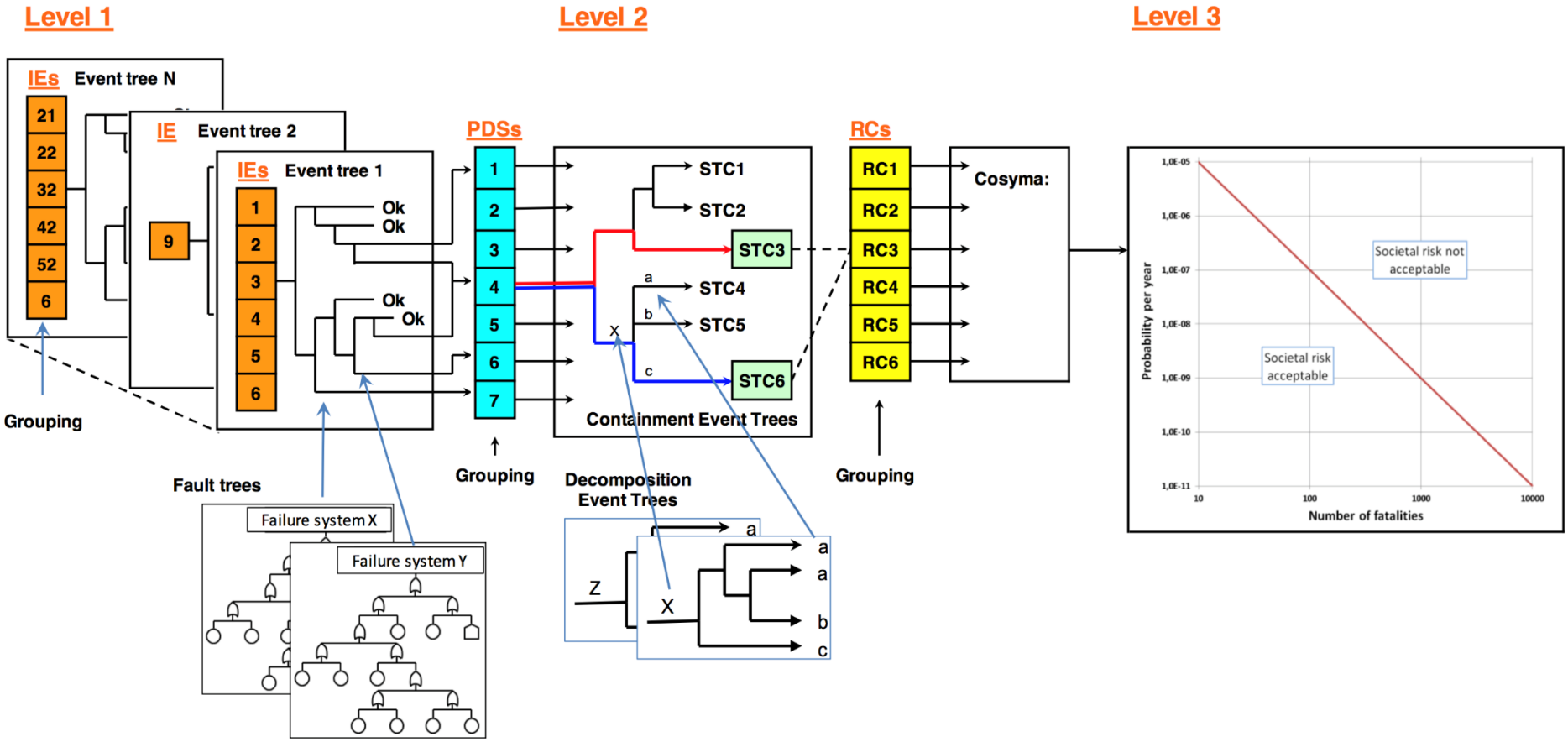
1. Fuel pellets
2. Fuel cladding
3. Reactor vessel
4. Core catcher
5. Containment
6. Reactor building



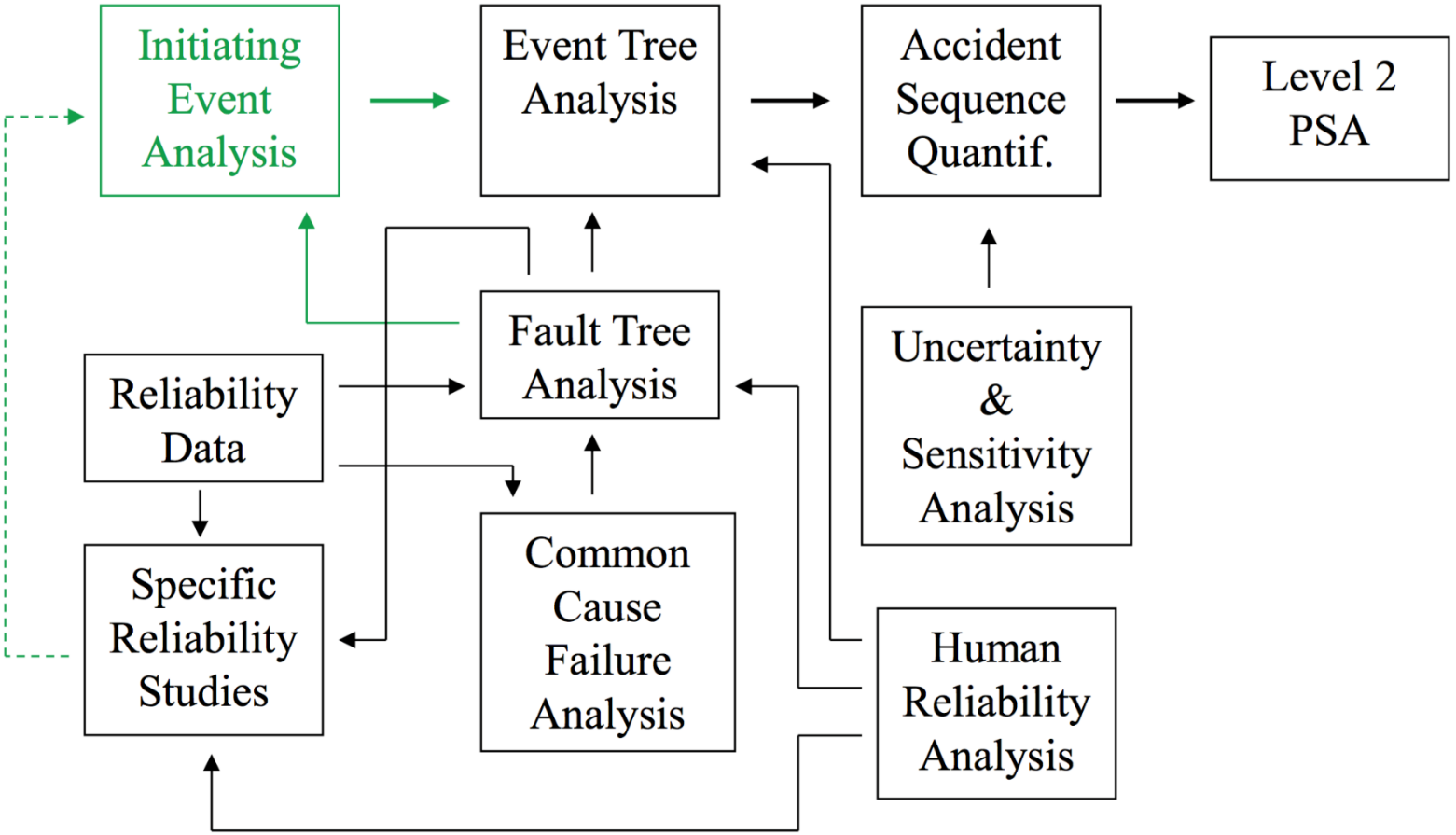
ระดับการประเมินโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ด้วย PSA:



การจัดทำโมเดล PSA แต่ละระดับ



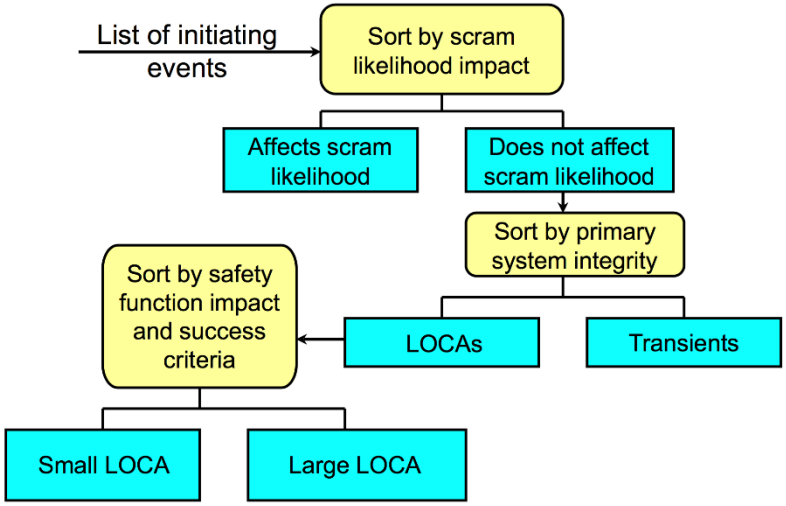
ขั้นตอนหลักในการจัดทำ PSA Level 1



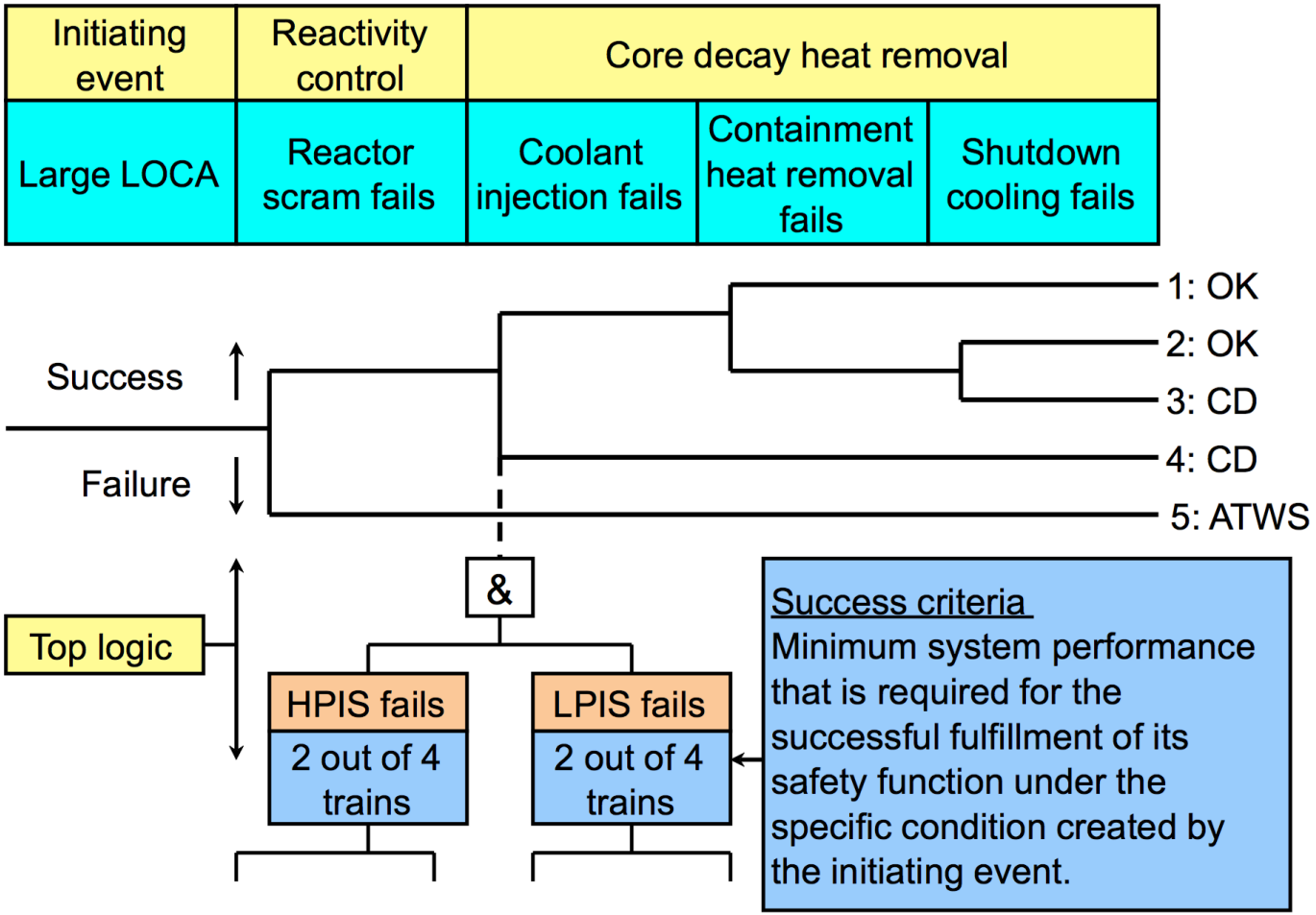
การวิเคราะห์เหตุการณ์เริ่มต้น (Initiating events analysis)

- ระบุ (Identification)
- คัดเลือก (Screening)
- จัดกลุ่ม (Grouping)
- ประมาณค่า (Quantification)

Item	Identification	Description	Failure Mode	Effects
1	RCS Safety relief valve	Pilot operated valve	Fails to open	No blow off in case of overpressure
2	RCS Safety relief valve	Pilot operated valve	Fails to close	Blow off cannot be stopped, medium LOCA
3	RCS Safety relief valve	Pilot operated valve	Spurious opening	Unintended blow off, medium LOCA
4	RCS Safety relief valve	Pilot operated valve	Internal leakage	Heat up of the pool
5	RCS Safety relief valve	Pilot operated valve	External leakage	Small LOCA
6	RCS Safety relief valve	Pilot operated valve	Rupture	Medium LOCA

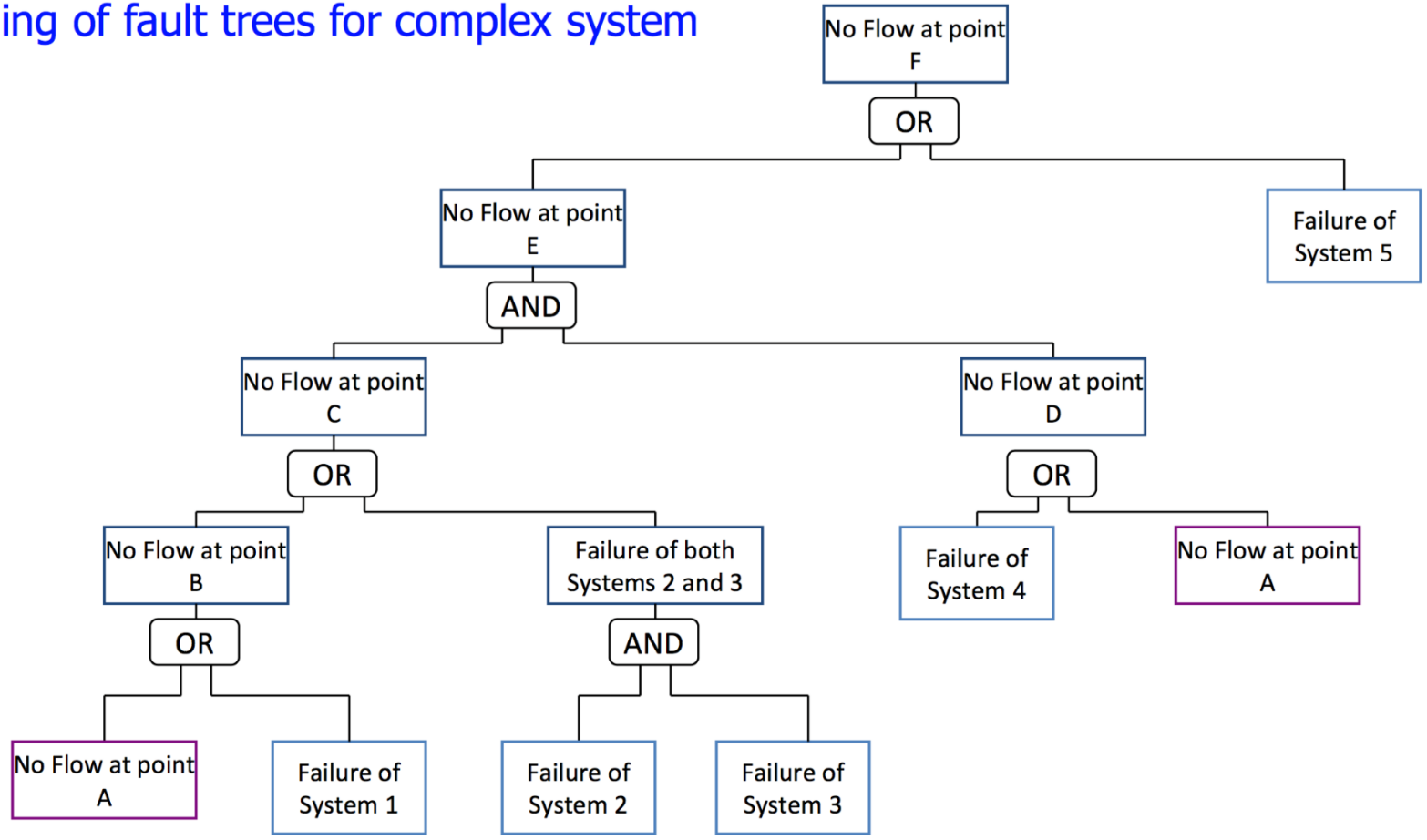


การวิเคราะห์ด้วย Event Tree



การวิเคราะห์ด้วย Fault Tree

Modeling of fault trees for complex system



ความเสียหายที่เกิดจากสาเหตุเดียวกัน (Common Cause Failure)

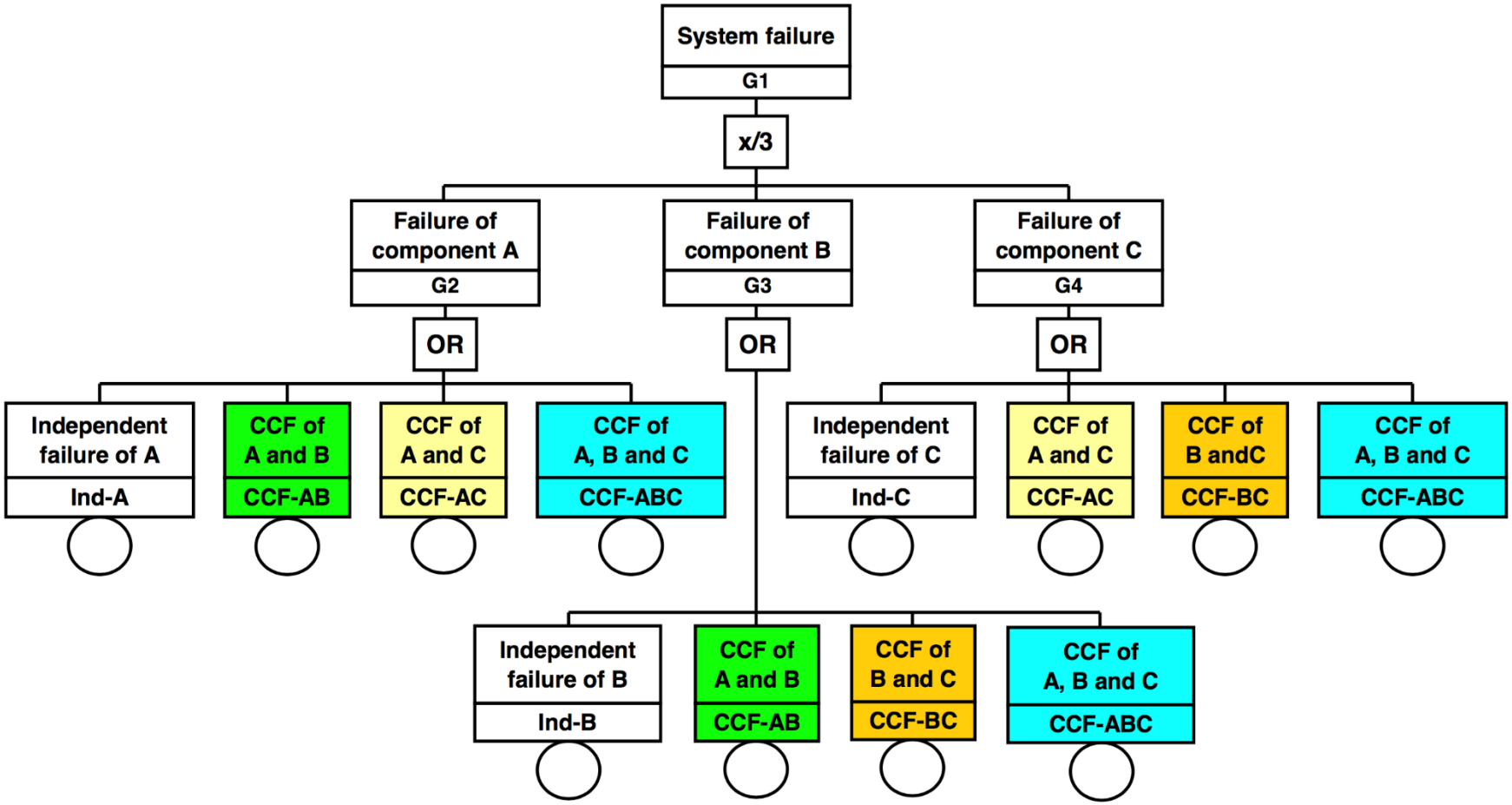
ประเภทของ Dependencies:

- Shared support system dependencies.
- Functional dependencies.
- Human interaction dependencies.
- Physical interaction dependencies.
- Major energetic external events dependencies.
- Common cause failures redundant equipment dependencies

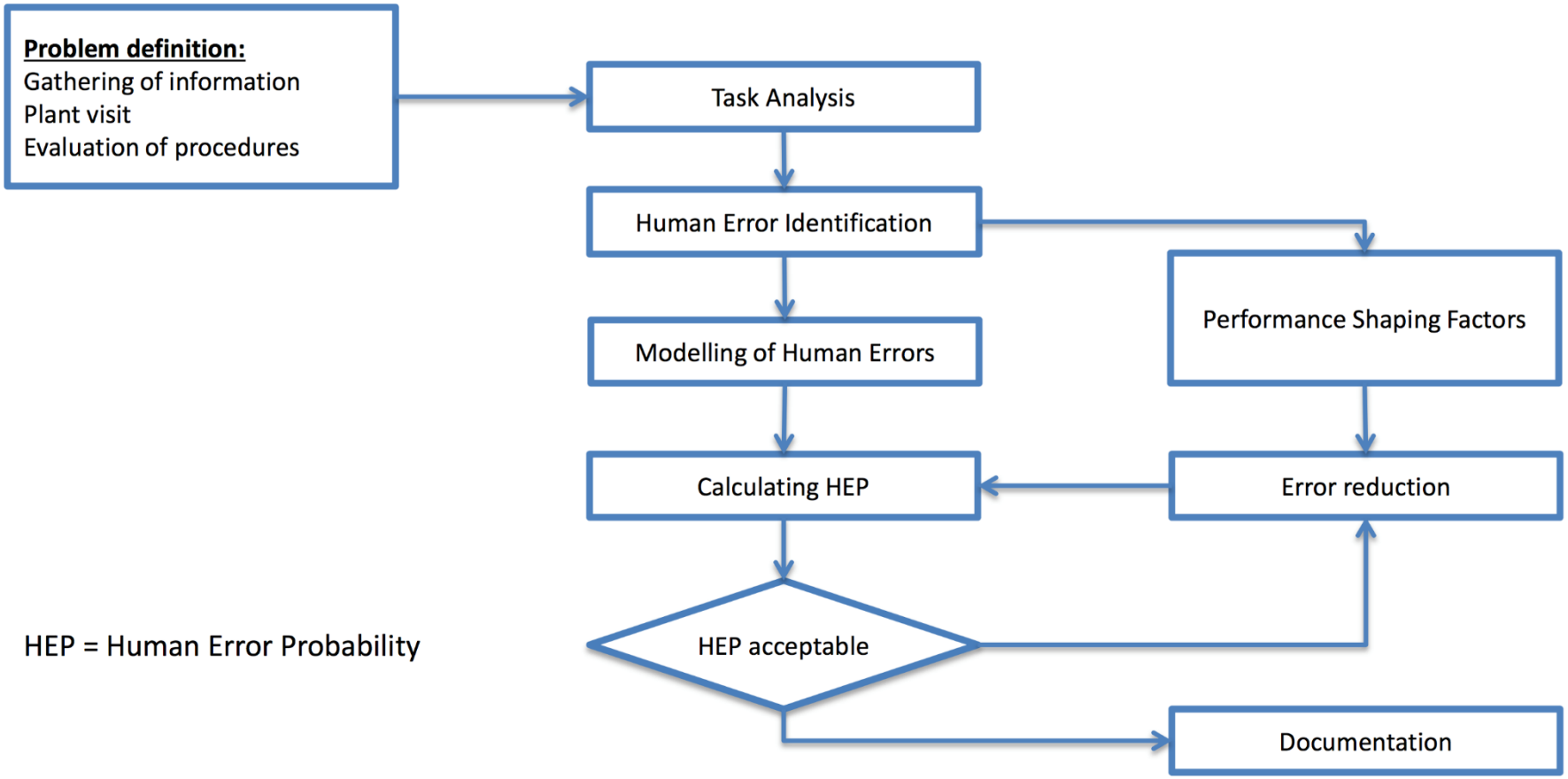
Coupling Factors

- Hardware based coupling factors
  - ส่วนประกอบเดียวกัน
  - การออกแบบระบบเหมือนกัน
- Operational based coupling factors
  - เจ้าหน้าที่เดินเครื่องและขั้นตอนการทำงานเดียวกัน
  - เจ้าหน้าที่บำรุงรักษาและขั้นตอนการตรวจสอบซ่อมแซมเดียวกัน
- Environment based coupling factors
  - สถานที่หรือตำแหน่งเดียวกัน
  - ตัวกลางในการทำงานเดียวกัน

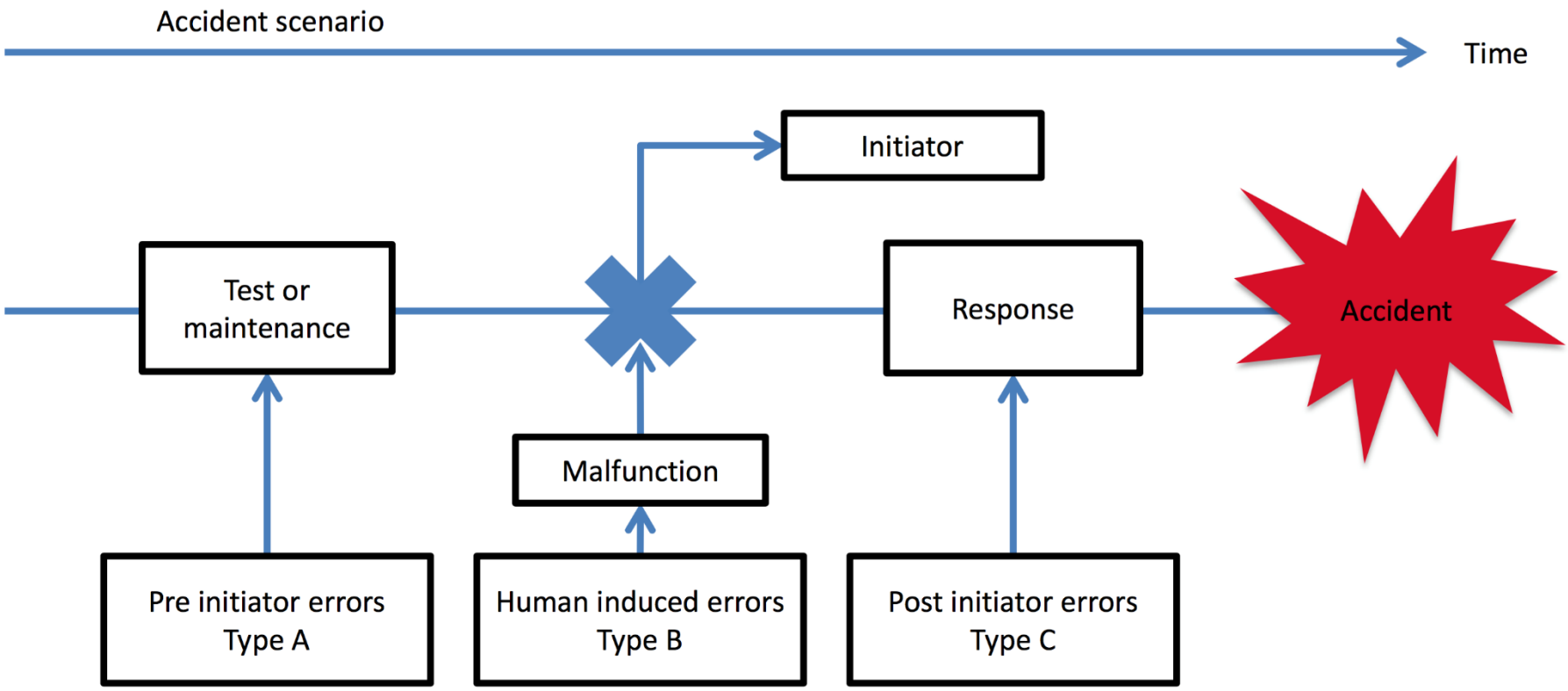
การวิเคราะห์ Common Cause Failure



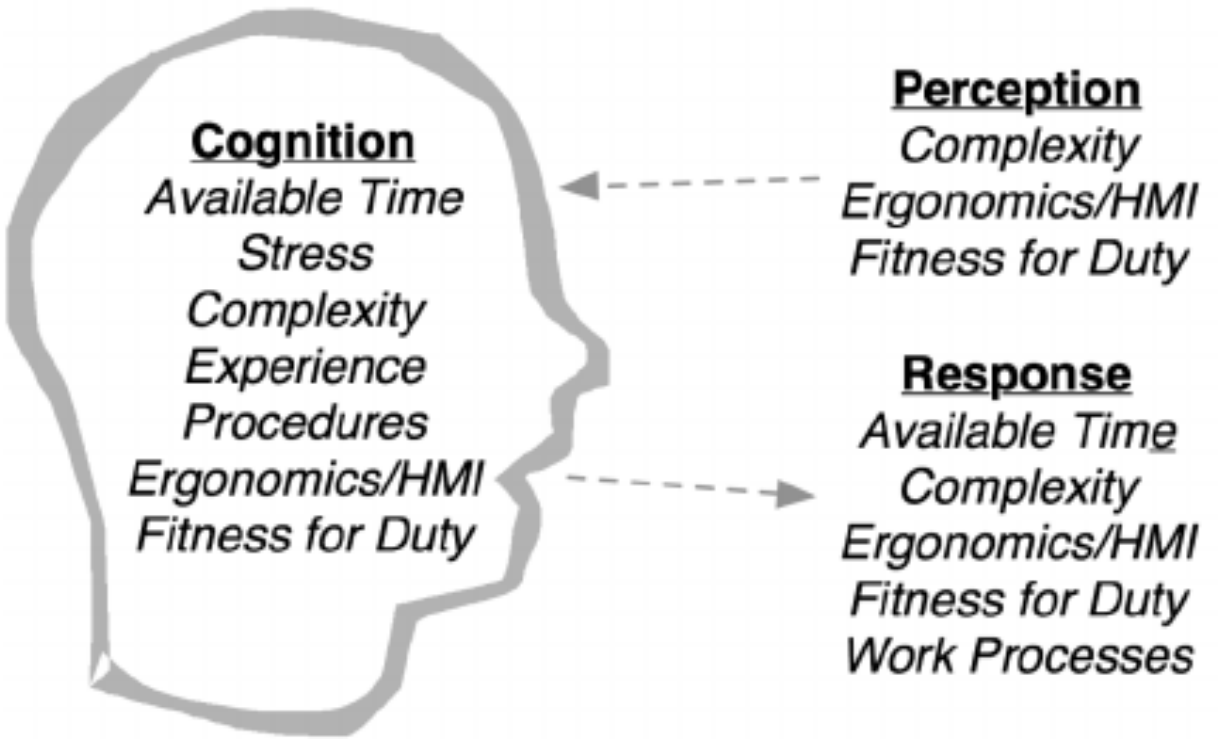
การวิเคราะห์ความผิดพลาดของมนุษย์ (human errors)



การแบ่งประเภทของ Human Errors



ปัจจัยของประสิทธิภาพการทำงาน
Performance Shaping Factors (PSFs)



ตัวอย่างของข้อมูลความเสียหาย Failure Data

1: Switch
- Fails to close
- Fails to open
- Transfers open
- Transfers close

2: Relay
- Fails to close
- Fails to open
- Transfers open
- Transfers close

3: Transformer
- Fails to operate

4: Pump
- fails to start
- Fails to run

5: Motor operated valve
- Fails to close
- Fails to open
- Transfers open
- Transfers close

6: Air operated valve
- idem

7: Diesel generator
- fails to start
- Fails to run

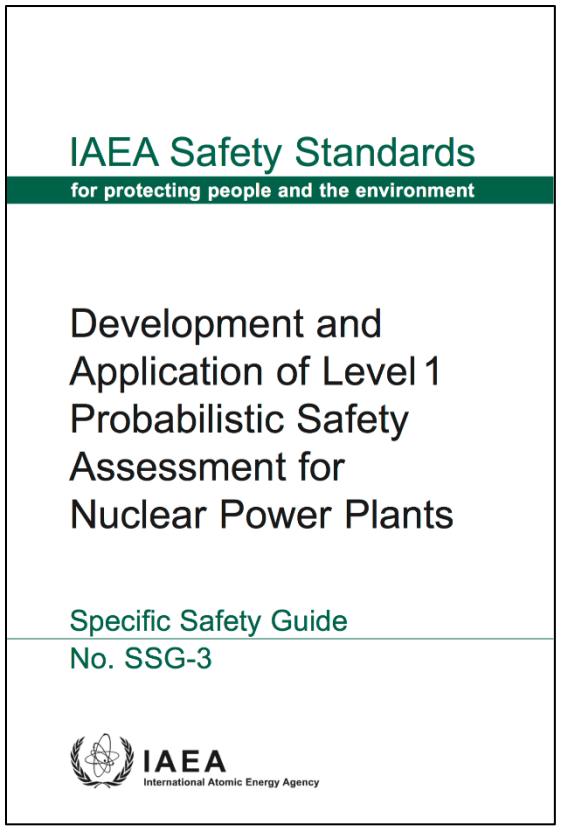
8: Bus bar
- Short phase to phase
- Short phase to earth
- Fails Open

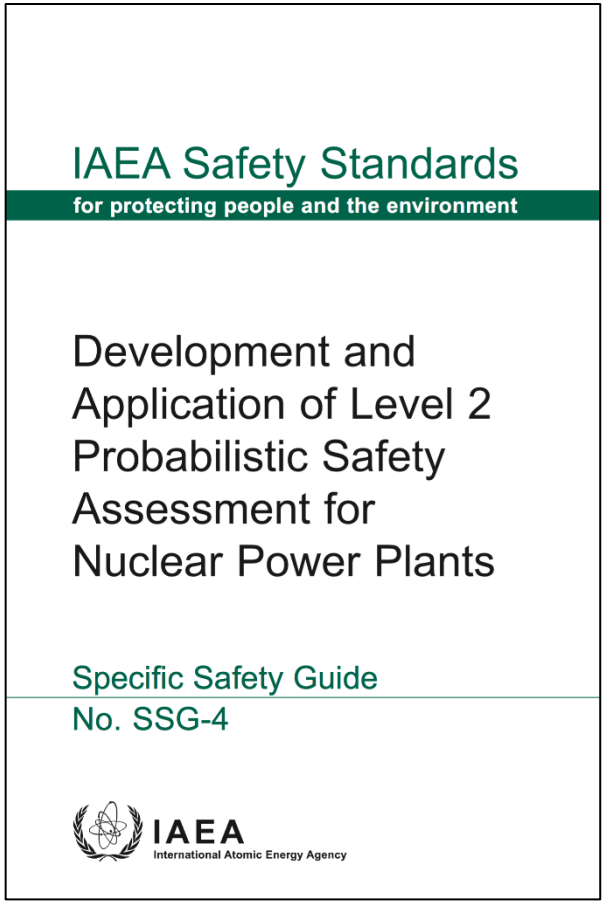
9: Temperature sensor
- Fails high
- Fails low
- Stuck

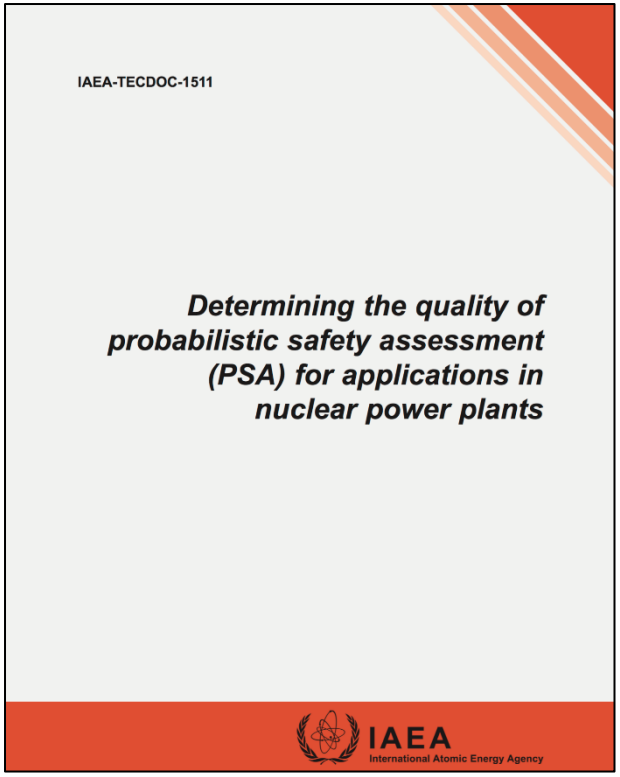
การจัดลำดับความสำคัญ (Importance Measures)

Basisgebeurtenis	FV	RRW	RAW	Birnbaum	
CSMP-POOLEAST	2,88E-01	1,40E+00	3,66E+01	2,13E-02	Strainer suppression pool east plugged
CSMP-POOLWEST	2,88E-01	1,40E+00	3,66E+01	2,13E-02	Strainer suppression pool west plugged
CCCF-CVS-INJHDR	2,22E-01	1,29E+00	1,69E+03	1,00E+00	Common cause failure check valves in both inj. headers
CNOSIGNALECC	1,69E-01	1,20E+00	1,69E+03	1,00E+00	No signal to start ECCS (screening value)
CCC-ECCPUMPSTART	4,67E-02	1,05E+00	1,69E+03	9,99E-01	CCF ECCS pumps start (3v4 or 4v4)
CCVN-HDR1-A	3,94E-02	1,04E+00	3,20E+01	1,84E-02	Check valve inj. HDR1-A fails to open
CCVN-HDR1-B	3,94E-02	1,04E+00	3,20E+01	1,84E-02	Check valve inj. HDR1-B fails to open
CCVN-HDR2-A	3,94E-02	1,04E+00	3,20E+01	1,84E-02	Check valve inj. HDR2-A fails to open
CCVN-HDR2-B	3,94E-02	1,04E+00	3,20E+01	1,84E-02	Check valve inj. HDR2-B fails to open
CTMSTRING1HDR	3,11E-02	1,03E+00	3,20E+01	1,84E-02	String header 1 isolated for testing
CTMSTRING2HDR	3,11E-02	1,03E+00	3,20E+01	1,84E-02	String header 2 isolated for testing
CCVN-ECC-PUMP1	2,59E-02	1,03E+00	2,14E+01	1,21E-02	Check valve pump 1 fails to open
CCVN-ECC-PUMP2	2,59E-02	1,03E+00	2,14E+01	1,21E-02	Check valve pump 2 fails to open
CCVN-ECC-PUMP3	2,59E-02	1,03E+00	2,14E+01	1,21E-02	Check valve pump 3 fails to open
CCVN-ECC-PUMP4	2,59E-02	1,03E+00	2,14E+01	1,21E-02	Check valve pump 4 fails to open
CTM-ECCP1	2,30E-02	1,02E+00	2,14E+01	1,21E-02	ECCS pump 1 isolated for testing
CTM-ECCP2	2,30E-02	1,02E+00	2,14E+01	1,21E-02	ECCS pump 2 isolated for testing
CTM-ECCP3	2,30E-02	1,02E+00	2,14E+01	1,21E-02	ECCS pump 3 isolated for testing
CTM-ECCP4	2,30E-02	1,02E+00	2,14E+01	1,21E-02	ECCS pump 4 isolated for testing
E-2	1,69E-02	1,02E+00	1,69E+03	9,99E-01	Failure of emergency power supply
CHFLSTRING1HDR	1,55E-02	1,02E+00	3,20E+01	1,84E-02	Latent human error following test inj. string header 1
CHFLSTRING2HDR	1,55E-02	1,02E+00	3,20E+01	1,84E-02	Latent human error following test inj. string header 2
CHFL-ECCP1-MAINT	1,02E-02	1,01E+00	2,14E+01	1,21E-02	Latent human error following test on ECCS pump 1
CHFL-ECCP2-MAINT	1,02E-02	1,01E+00	2,14E+01	1,21E-02	Latent human error following test on ECCS pump 2
CHFL-ECCP3-MAINT	1,02E-02	1,01E+00	2,14E+01	1,21E-02	Latent human error following test on ECCS pump 3
CHFL-ECCP4-MAINT	1,02E-02	1,01E+00	2,14E+01	1,21E-02	Latent human error following test on ECCS pump 4
CMPA-ECC-PUMP1	6,91E-03	1,01E+00	2,59E+01	1,48E-02	ECCS pump 1 fails to start
CMPA-ECC-PUMP2	6,91E-03	1,01E+00	2,59E+01	1,48E-02	ECCS pump 2 fails to start
CMPA-ECC-PUMP3	6,91E-03	1,01E+00	2,59E+01	1,48E-02	ECCS pump 3 fails to start

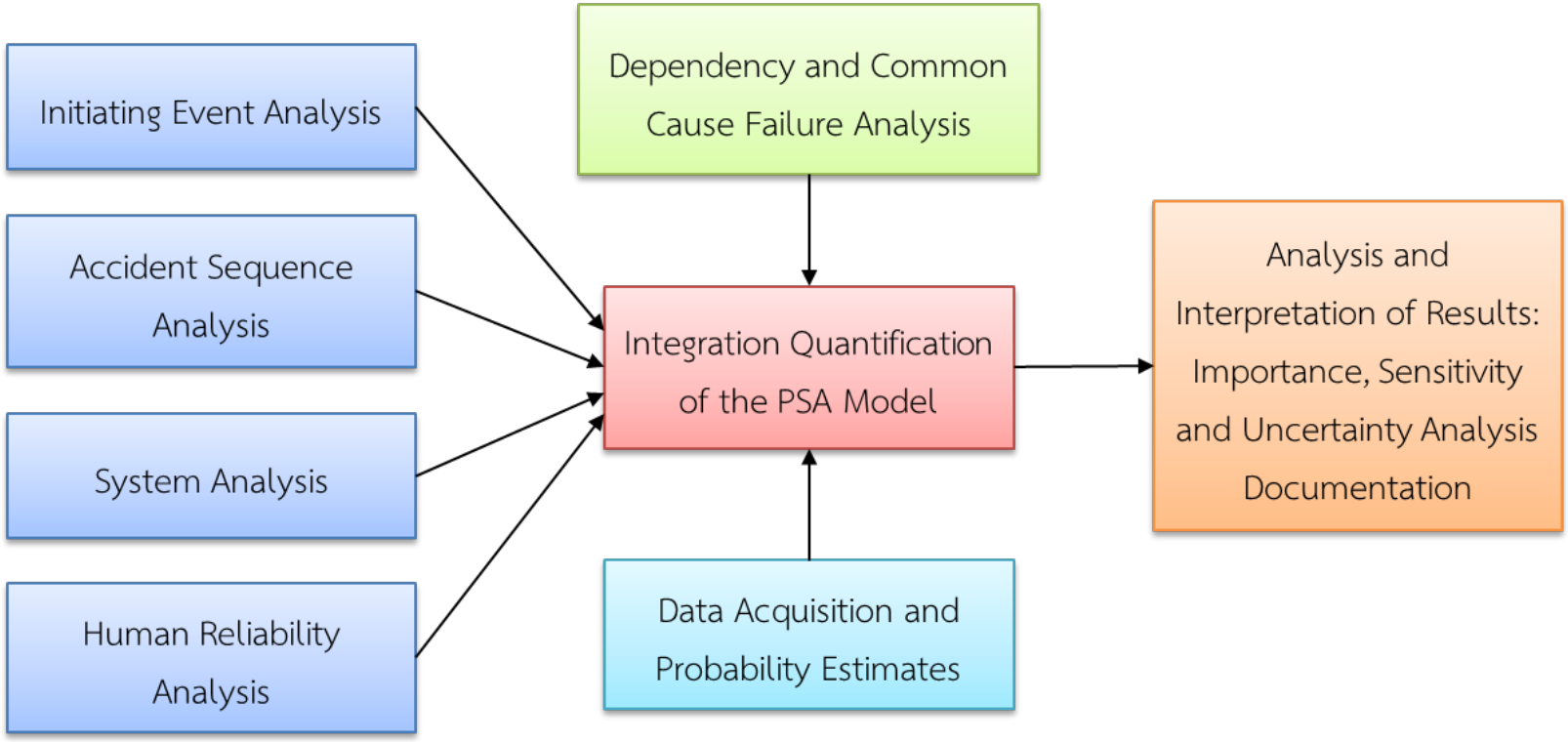
เอกสารของ IAEA เกี่ยวกับ PSA







สรุปภาพรวมการจัดทำ PSA

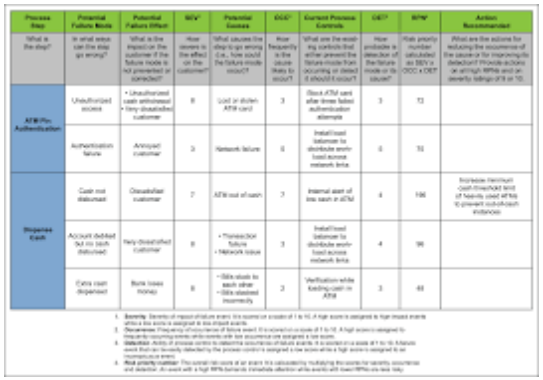


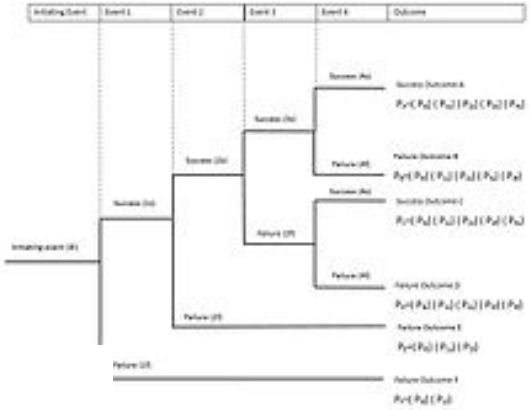
PSA สำหรับเครื่องปฏิกรณ์วิจัย (Research Reactor)

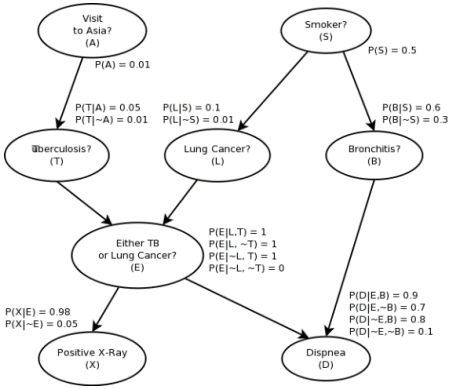
- Core Damage Frequency (CDF)
  - มาตรฐานค่า CDF ของ IAEA: 10e-4
  - ประเภทของความเสียหายต่อแกนเครื่องปฏิกรณ์ (Core Damage States; CDS)
    - ไม่สามารถหยุดการทำงานของเครื่อง
    - ไม่สามารถหล่อเย็นแกนเครื่อง
    - อุบัติเหตุจากปฏิกิริยานิวเคลียร์
- Initiating events (IEs)
  - Loss of Coolant Accident initiator (LOCA)
  - Loss of Offsite Power (LOOP)
  - Loss of Flow Accident (LOFA)
  - Reactivity Insertion Accident (RIA)
  - Loss of Instrument and Control (LOI&C)

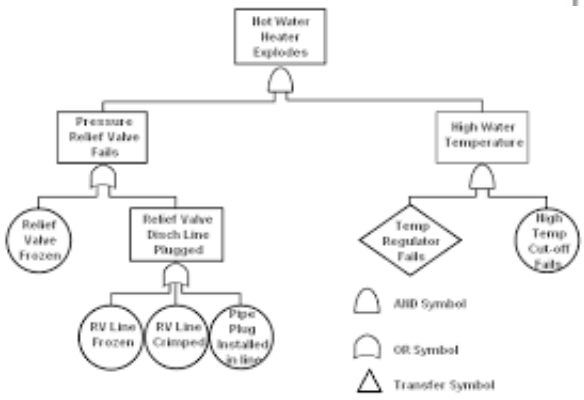
Modeling

- Master Logic Diagram (MLD)
- Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)
- Accident Sequence : Event Tree
- System Structure : Fault Tree
- Human Error : Bayesian Network
- System Thermal Hydraulic Model : RELAP5







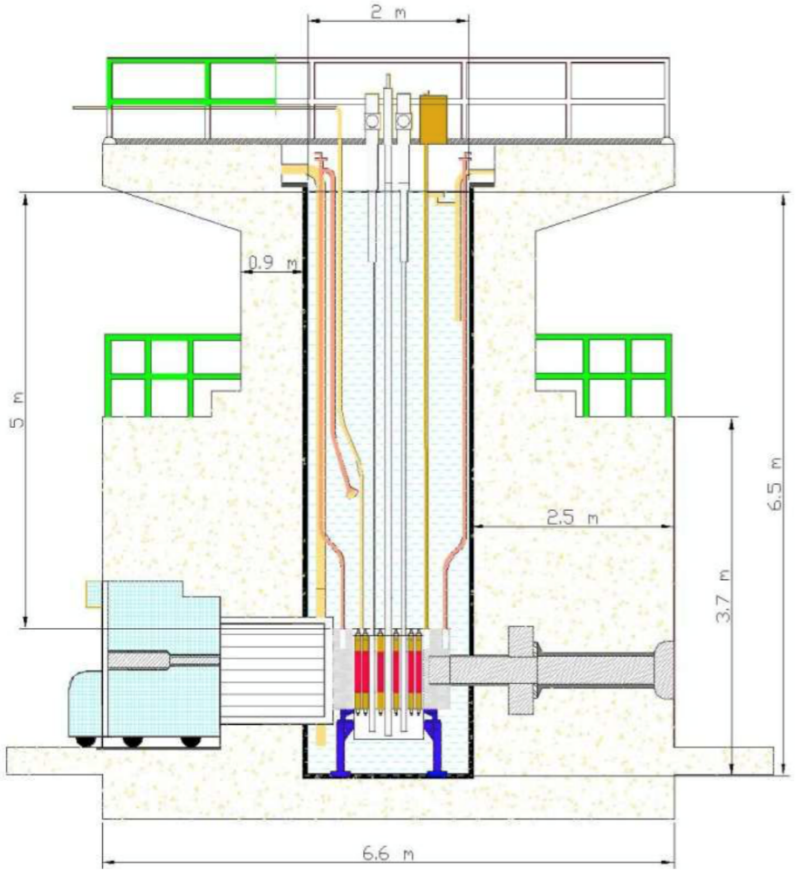


การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

- ข้อมูลเฉพาะของเครื่องปฏิกรณ์ (Specific Data) เก็บรวบรวมจากประวัติการเดินเครื่อง ประวัติการทำงาน และรายงานการบำรุงรักษาระบบ,
  - ประสบการณ์การทำงาน
  - ข้อมูลระยะเวลาการใช้งาน
  - จำนวนการเรียกใช้
  - ความถี่ของเหตุการณ์เริ่มต้น จำนวนความเสียหาย และเวลาที่ใช้ไม่ได้ในช่วงของการทดสอบ บำรุงรักษาและซ่อมแซม
- ข้อมูลทั่วไป (Generic data) จากหลายแหล่ง เช่น
  - IAEA TECDOC-930, *Generic Component Reliability Data for Research Reactor PSA*, 1987.

ตัวอย่างเครื่องปฏิกรณ์วิจัย TRIGA Puspati (1 MW)

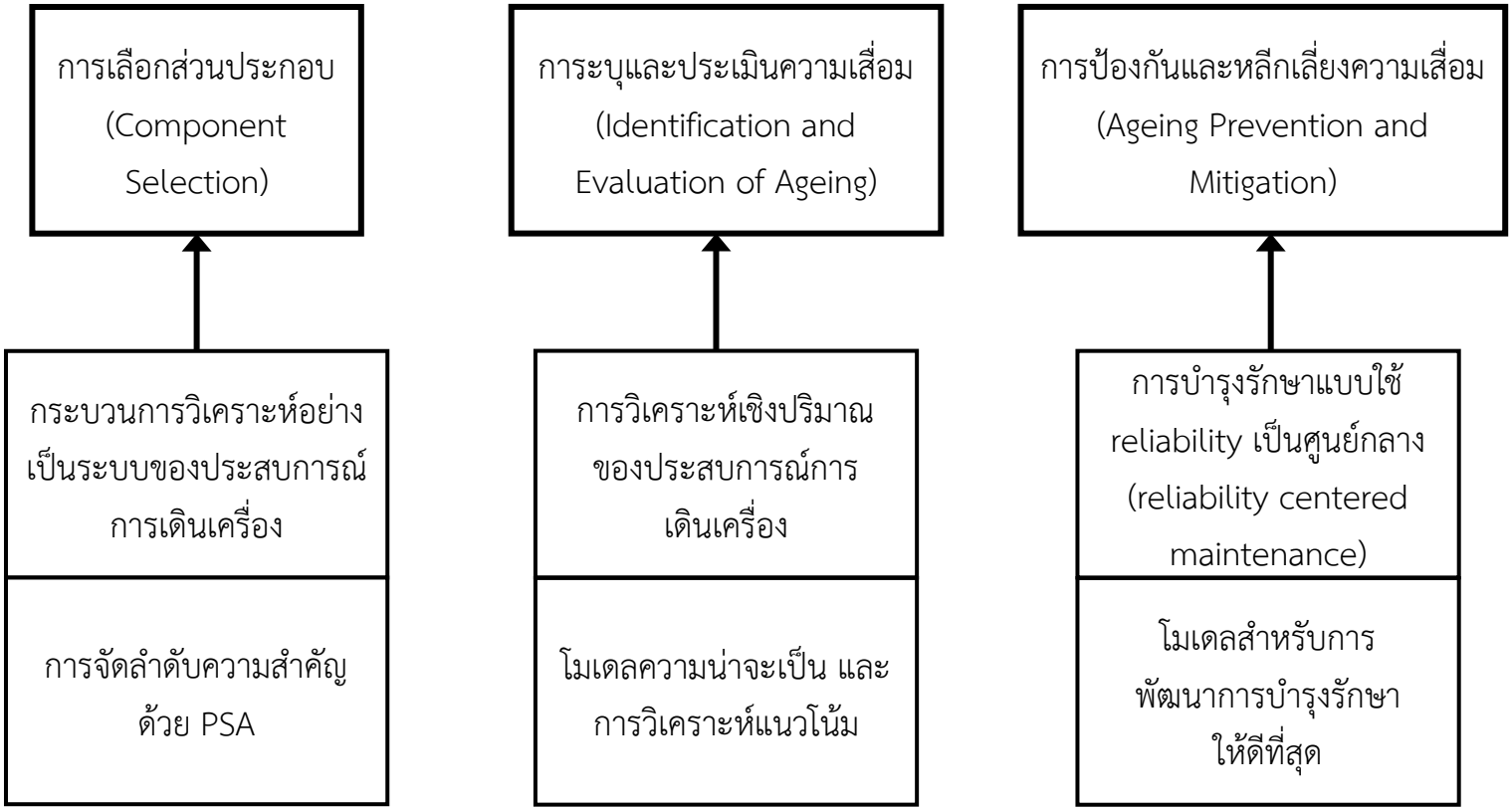
- เครื่องปฏิกรณ์วิจัยของมาเลเซียรุ่น TRIGA Mark II
- สร้างโดยบริษัท General Atomic Co. เมื่อปี ค.ศ. 1981
- เป็นรูปแบบสระน้ำ (Open pool-type) โดยมีแกนและตัวสะท้อนอยู่ใต้น้ำที่ส่วนล่างของแท็งก์อลูมิเนียม เส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เมตร
- เชื้อเพลิงเป็นแบบ Zirconium-hydride (ZrH1.6)/Low-enriched uranium (LEU)



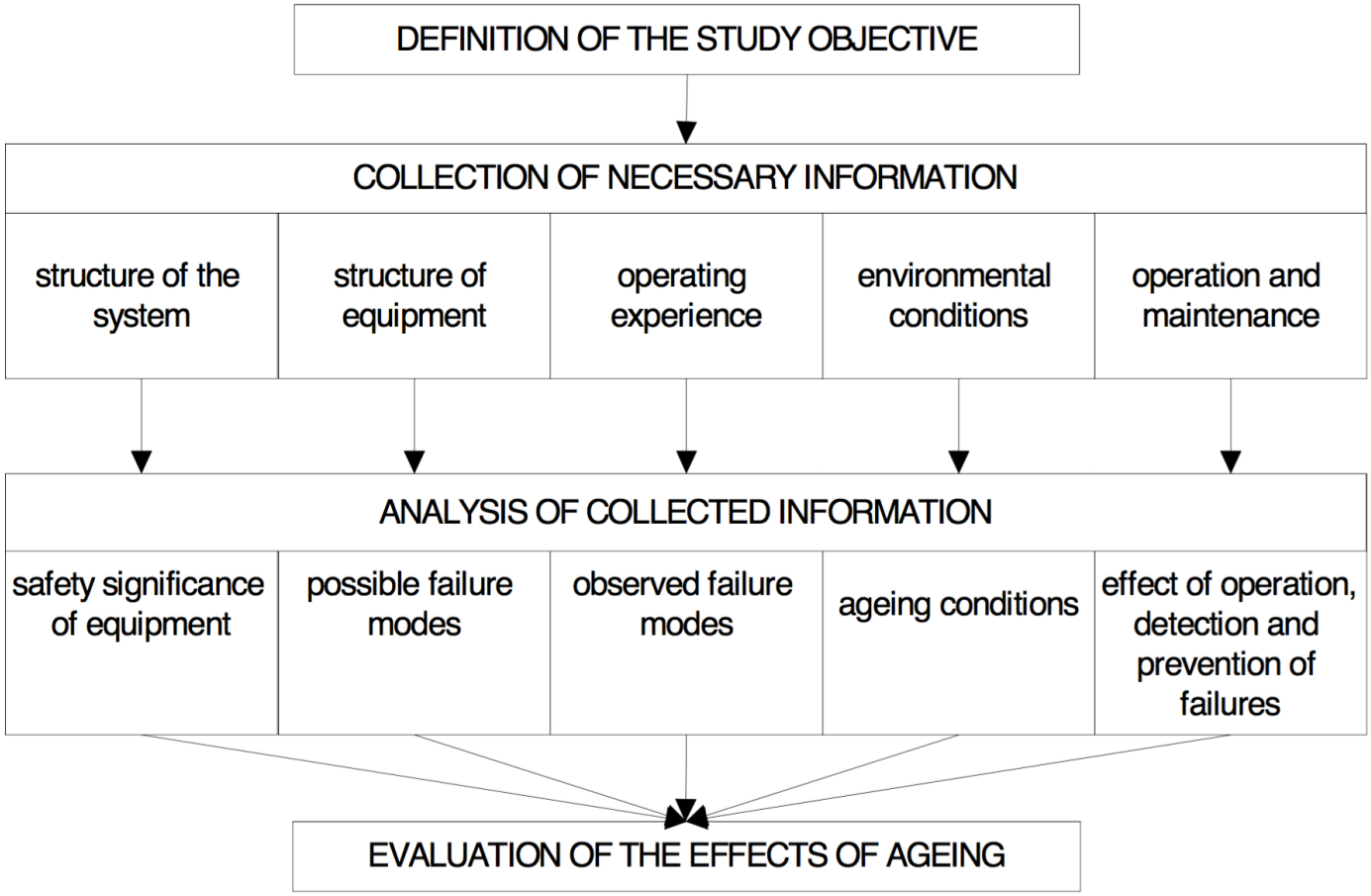
ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ด้วย PSA

- ความถี่ในการเกิดลำดับเหตุการณ์ที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อแกนเชื้อเพลิงน้อยมาก
- ความน่าจะเป็นในการเกิดความเสียหายต่อแกนอยู่ที่ประมาณ 1.0E-4/year
- จากการวิเคราะห์อุบัติเหตุรุ่นแรง (severe accident) ที่อาจเกิดขึ้น สรุปได้ว่าความผิดพลาดของมนุษย์จะเป็นสาเหตุหลัก ซึ่งในการวิเคราะห์ ผู้ประเมินจะต้องมีขั้นตอนการทำงานในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉินอย่างละเอียด
- ทุกเหตุการณ์เริ่มต้น (initiating event) ระบบสามารถ scram ได้ทันเวลา และไม่มีความเสียหายต่อแกนเครื่องปฏิกรณ์
- ไม่มีสัญญาณ scram อัตโนมัติในหลาย IE เช่น LLCOA
- ต้องทำการวิเคราะห์ความผิดพลาดที่เกิดจากมนุษย์ในระหว่างการทำการทดลอง
- การประเมินความถี่ในการเกิด IE ต้องใช้เวลาในการค้นหา generic data เนื่องจากไม่ค่อยมีข้อมูลที่เป็นสาธารณะ

PSA สำหรับการจัดการความเสื่อม (Ageing Management)



การระบุส่วนประกอบที่อาจทำให้เกิดความเสียหายจากความเสื่อม



การระบุและประเมินผลจากความเสื่อม

- **ความเสื่อมระยะสั้น (Short-term ageing)**
  - ส่วนมากสำหรับส่วนประกอบเครื่องกลหรืออิเล็กทรอนิกส์ที่มีอายุสั้น
  - ส่วนประกอบที่ทดแทนได้หรือซ่อมได้
  - ข้อมูลความเสื่อมส่วนมากได้มากจากข้อมูลความเสียหาย
  - ถูกออกแบบมาให้การบำรุงรักษาทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- **ความเสื่อมระยะยาว (Long-term ageing)**
  - ไม่มีการวางแผนการบำรุงรักษาประจำ
  - ส่วนมากคือส่วนประกอบที่เป็นโครงสร้าง ถูกออกแบบมาเพื่อให้ใช้ได้จนถึงอายุของโรงงาน โดยมี safety margin เพียงพอ
  - ข้อมูลความเสื่อมอยู่ในรูปแบบของ degradation data จากการเฝ้าตรวจสถานะ
  - ต้องการทั้งการวิเคราะห์แบบ quantitative และ qualitative

วิธีการหลีกเลี่ยงผลกระทบจากความเสื่อม

- **ความเสื่อมระยะสั้น (Short-term ageing)**
  - ทบทวนกระบวนการบำรุงรักษาเพื่อปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ตามประวัติการเกิดความเสียหายและการบำรุงรักษาในอดีต
  - โดยต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ เช่น อะไหล่ และการหาส่วนประกอบมาทดแทน
  - การบำรุงรักษาแบบใช้ความเชื่อถือได้เป็นศูนย์กลาง (Reliability centered maintenance; RCM)
- **ความเสื่อมระยะยาว (Long-term ageing)**
  - ควบคุมดูแลความเสื่อมโดยการตรวจสอบ เพื่อให้ระบุได้ว่าความเสื่อมอยู่ในขั้นไหน และควบคุมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสม
  - ใช้วิธีการตรวจสอบแบบเข้าใจความเสี่ยง (Risked-informed)
  - โดยขึ้นอยู่กับ กลไกความเสื่อม, ลำดับความเสี่ยง, ประสิทธิภาพของการตรวจสอบ, ความง่ายในการเข้าถึง และค่าใช้จ่าย

References

- IAEA, SAFETY SERIES SSG-3: Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants. 2010.
- IAEA, TECDOC-1511: Determining PSA Quality for Applications in NPPs. 2006.
- Modarres, Mohammad, Mark P. Kaminskiy, and Vasiliy Krivtsov. “Reliability engineering and risk analysis: a practical guide”. CRC press, 2016.
- Christian Kirchsteiger, On the use of probabilistic and deterministic methods in risk analysis, Journal of Loss Prevention in the Process Industries 12 (1999) 399–419.
- NRG, Training Course on “Requirements and safety evaluation of NPP PSA”, INSC Project MC3.01/13, Training and Tutoring for experts of the NRAs and their TSOs for developing or strengthening their regulatory and technical capabilities.
- F.C. Brayon, M. Mazlehab, P. Prak Tomb, A.H.S Mohd Sarifc, Z. Ramlia, F. Zakariab, F. Mohamedc, Abid Aslamd, A. Lyubarskiye, I.Kuzminae, P.Hughese , A.Ulsese, Building Competence for Safety Assessment of Nuclear Installations: Applying IAEA's Safety Guide for the Development of a Level 1 Probabilistic Safety Assessment for the TRIGA Research Reactor in Malaysia
- K. Simola, Reliability methods in nuclear power plant ageing management, VTT Publications 379, Technical Research Centre of Finland ESPOO 1999.
- JRC Scientific and Technical Reports, Guidelines for Analysis of Data Related to Ageing of Nuclear Power Plant Components and Systems, EUR 23954 EN - 2009