

2023 KNS 춘계학술발표회

# 획득경로분석 방법론의 규제적용성 검토

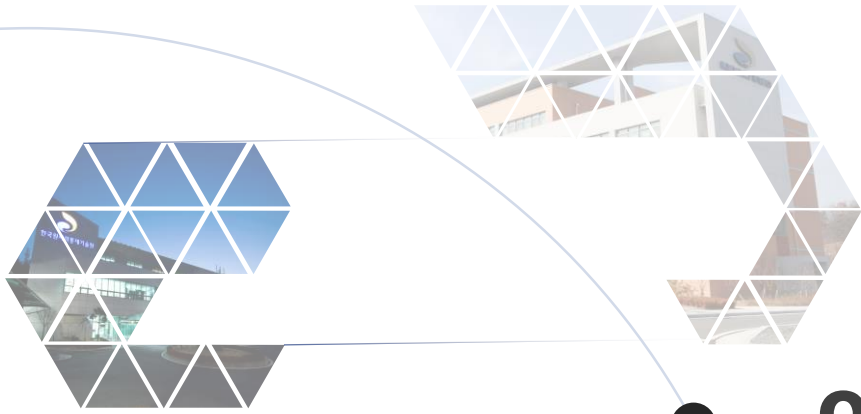
한국원자력통제기술원

발표자: 정연홍

2022-05-18

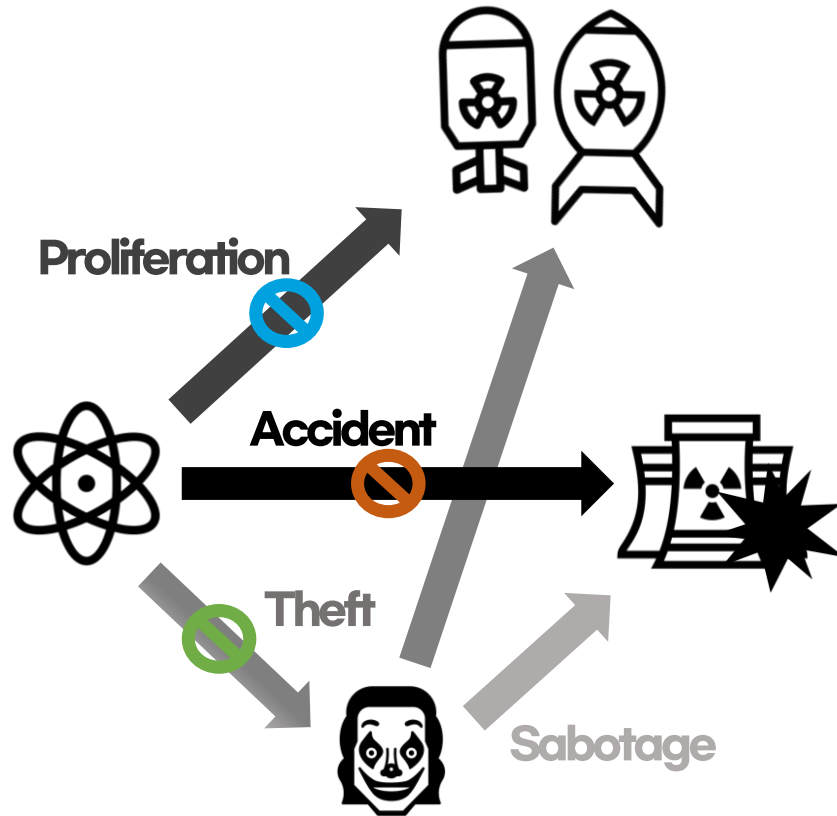


# Contents



- 연구배경
- 기본이론
- 모델개발
- 결과 및 시사점

# 1.1. IAEA 안전조치 (SG, Safeguards)



원자력의 평화적 이용을 저해하는 요소

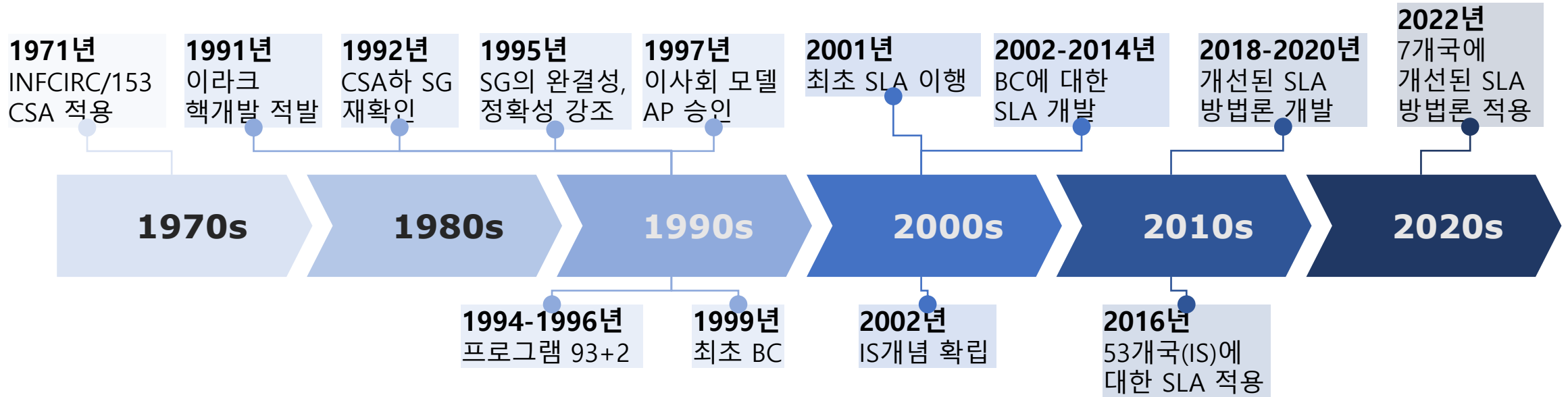


- 원자력 시설의 안전성을 보장



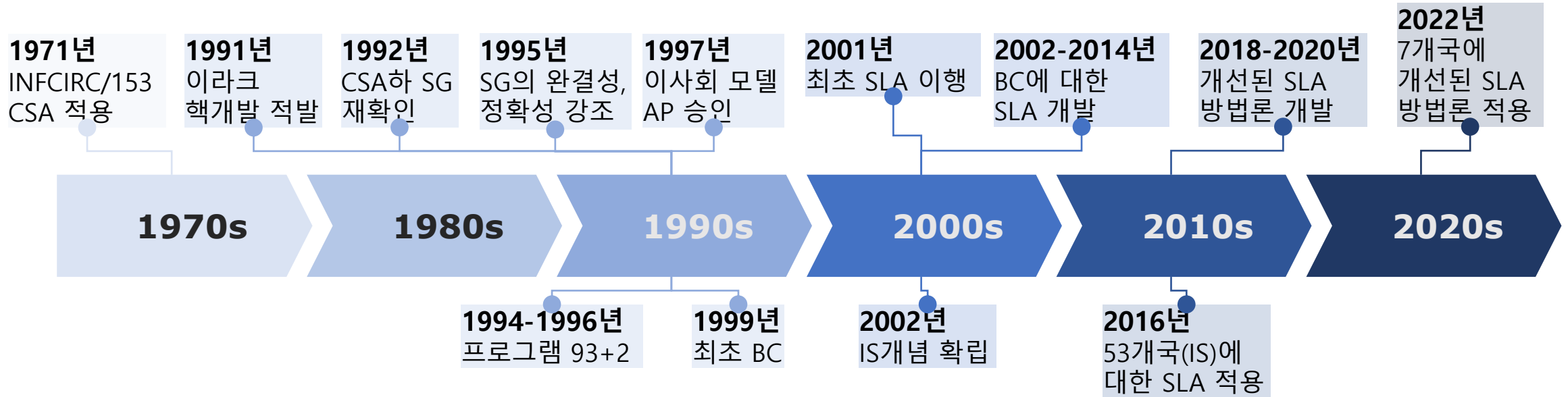
- 인위적 위협(탈취, 사보타주)으로부터 보호

## 1.2. 국가수준 접근법의 역사적 배경 - 1



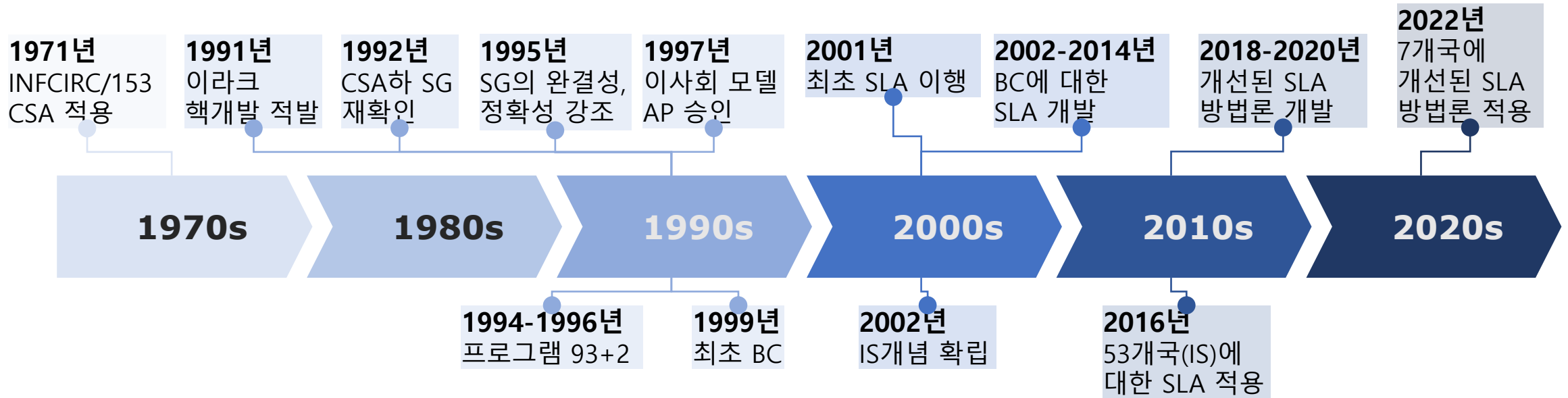
- 1957년 IAEA 창립 이후 1970년 핵확산금지조약(NPT, Nuclear Non-proliferation Treaty)에 따른 INFCIRC/153 (전면안전조치체제; CSA, Comprehensive Safeguards Agreement)를 출범
- 안전조치(SG, safeguards)란 특정 국가의 원자력 프로그램이 평화적 목적에 국한됨을 확인시키고 군사적 목적으로의 전용을 방지하려는 일련의 검증조치로서 다음의 조치로 구성
  - 계량관리(Accountancy)
  - 격납·감시(C/S, Containment & Surveillance)
  - 현장사찰(Inspection)

## 1.2. 국가수준 접근법의 역사적 배경 - 2



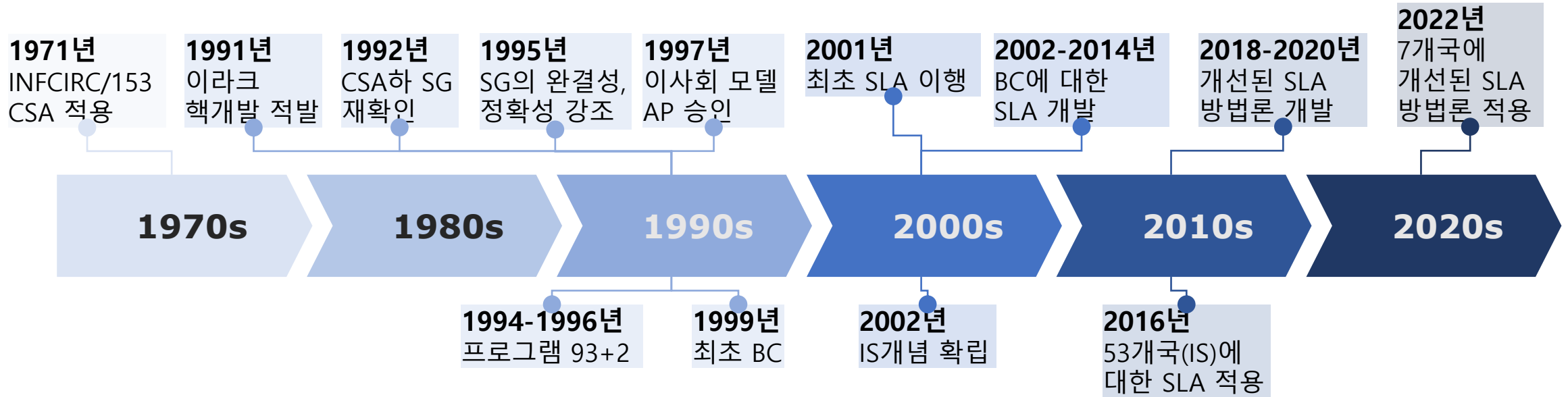
- 전면안전조치협정은 대상 국가가 신고한 시설에 한하여 이러한 안전조치 수단을 적용하는 것으로 의도적으로 정보를 누락하거나 원자력 시설이나 핵물질 등을 은닉하는 경우 이를 확인하기 어렵다는 문제점이 존재 (이라크 핵개발 의혹 적발)
- IAEA는 이러한 문제점을 보완하기 위해 다음의 두 가지 노력을 시도함
  - 국가의 정보를 평가하는 방식을 개별 시설을 평가하는 것에서 통합적인 관점에서 평가하는 것으로 확대하여 국가수준 접근법(SLA, State Level Approach) 개발
  - 미신고 시설 등에 대한 추가접근을 할 수 있는 새로운 체제를 제안하여 1997년 INFCIRC/540 (모델 추가의정서; AP, Additional Protocol)를 도입

## 1.2. 국가수준 접근법의 역사적 배경 - 3



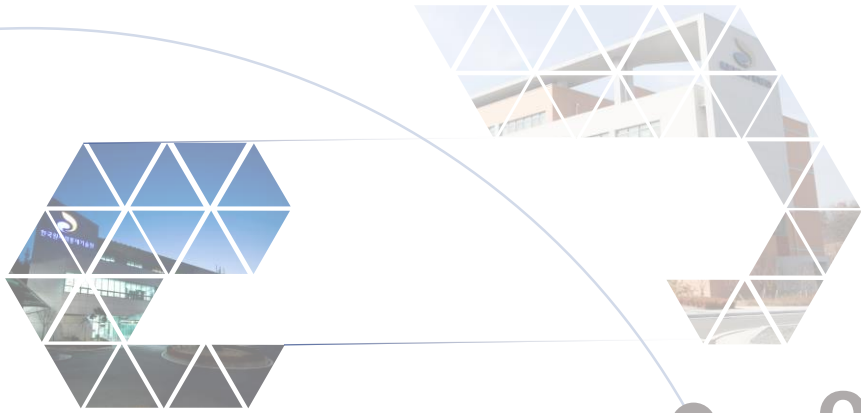
- 추가의정서에 따른 추가적인 사찰자원의 확보 및 재원조달의 어려움을 해소하기 위해 안전조치 수단의 효율적 배분을 위한 하나의 수단으로서 통합안전조치(IS, Integrated Safeguards) 개념을 도입 (단기통보사찰 및 원격감시 장비 활용 등)
- 전면안전조치협정과 추가의정서를 모두 수용하고 이를 토대로 정확성(신고된 핵물질의 전용이 없음을 검증)과 완결성(미신고 핵물질이 없음을 검증)이 보장된 일부 국가에 대하여 포괄적 결론(BC, Broad Conclusion)을 내리고 가용한 모든 안전조치 수단을 최적화하여 최대의 효율성과 효과성을 달성하기 위한 통합안전조치를 도입함. 이는 안전조치 체제가 시설단위가 아닌 국가단위로 이행하는 최초의 사례

## 1.2. 국가수준 접근법의 역사적 배경 - 4



- 국가수준 접근법의 적용으로 IAEA가 특정 국가에 대해 주관적이며 정치적인 결과를 도출할 수 있다는 등의 우려가 발생함에 따라 지속적인 개념 정립과 개선의 노력
- 2018년에는 그간의 경험을 토대로 개선사항을 도출한 보고서(GOV/2018/20)가 발간되었고 이후 기존의 국가수준 접근법을 개선할 방법론이 개발되었고 2022년 우리나라를 포함한 7개국에 적용할 예정임
- 우리나라는 2008년 IAEA로부터 정확성과 완결성이 보장됨을 인정받고 포괄적 결론에 도달하여 통합안전조치를 적용하게 됨. 이후 2015년 정식으로 국가수준 접근법을 도입함

# Contents



● 연구배경

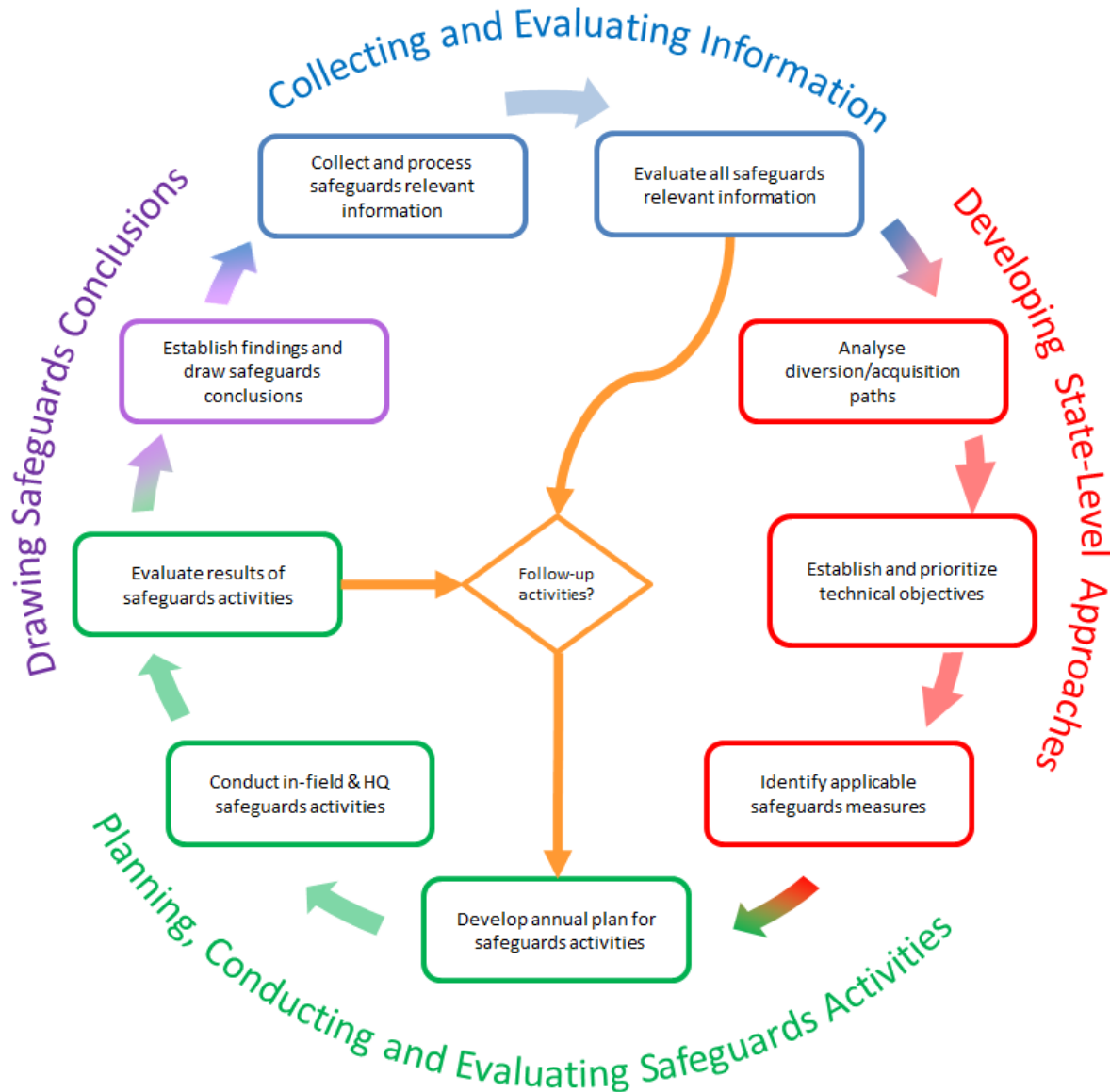
● **기본이론**

● 모델개발

● 결과 및 시사점

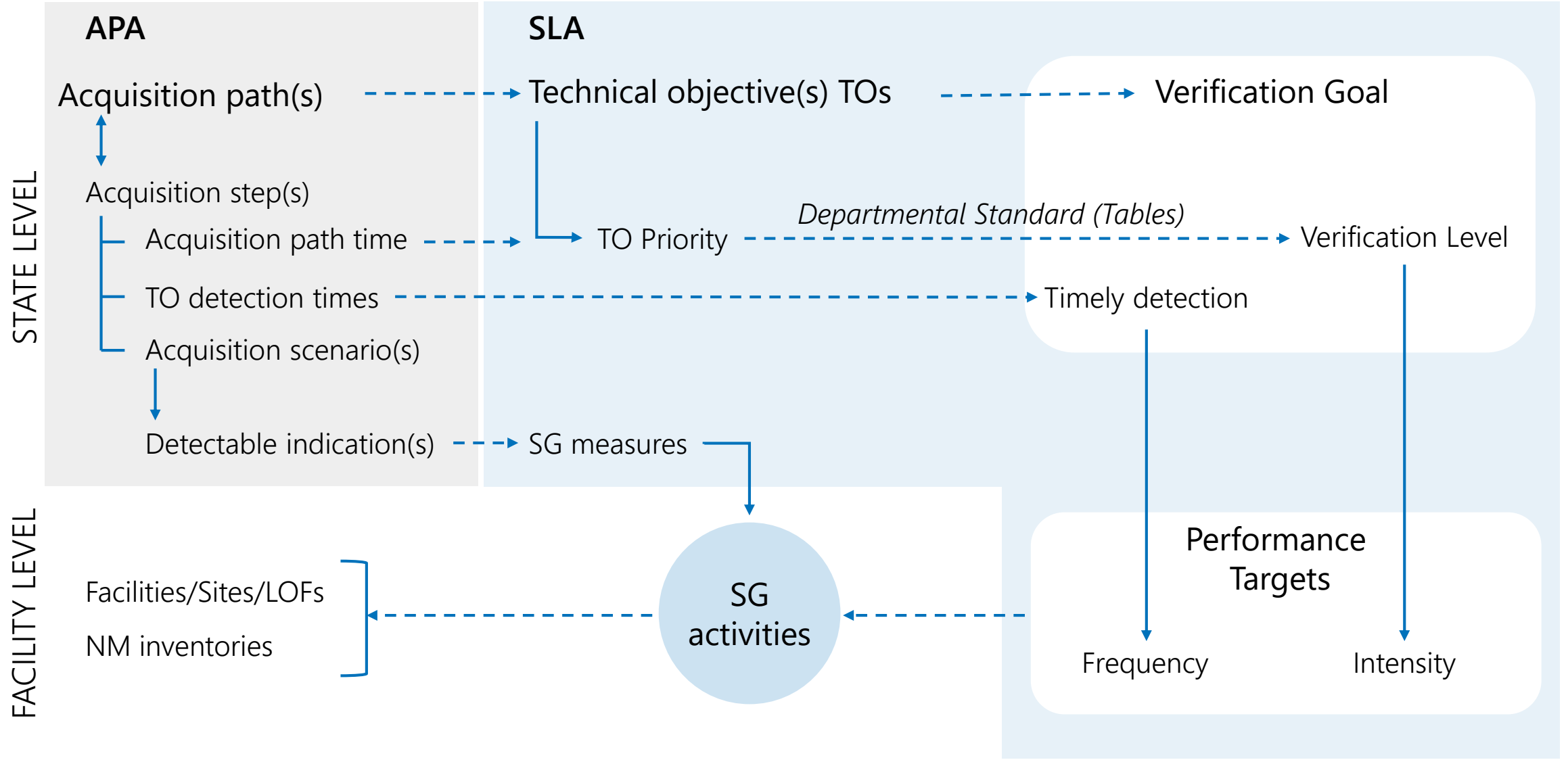


## 2.1. 국가수준 안전조치 접근법 수립 절차 - 1



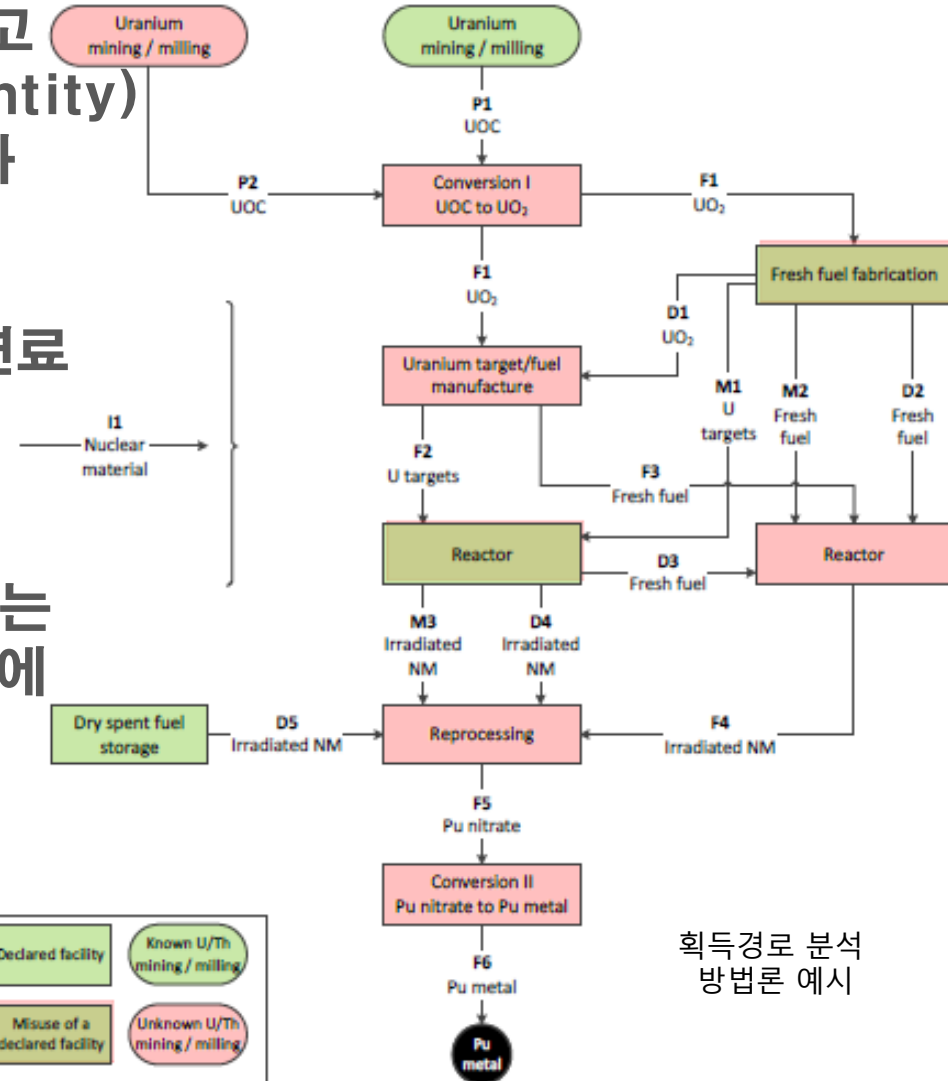
- 국가수준 접근법을 도입하는 이유는 대상 국가의 수준에 적합한 성능목표를 갖는 최적의 안전조치 수단을 적용하기 위함
- 이러한 성능목표를 결정하기 위해서는 개별 획득경로에 대한 기술목표가 제시되어야 하며 기술목표별 우선순위를 도출해야 함
- 또한, 적용 가능한 안전조치 수단을 결정하기 위해서는 IAEA의 법적인 권한과 대상 국가의 국가특성인자를 고려해야함
  - 국가특성인자 도출 → ( 획득경로 분석 → 기술목표 수립 → 기술목표별 우선순위 도출 → 대상 국가에 적합한 안전조치 수단 도출 → 성능목표 도출 ) → 연간 이행 계획 수립

# 2.1. 국가수준 안전조치 접근법 수립 절차 - 2



## 2.2. 획득경로분석 방법론 (APA, Acquisition Path Analysis) – 1

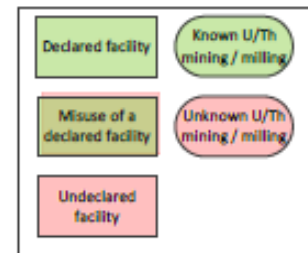
- 무기급 핵물질을 획득할 수 있는 가능한 모든 경로를 찾아내고 평가하는 것, 5년 이내에 1 유의량 (SQ, Significant Quantity) 이상의 무기급 핵물질 생산이 가능한 경우를 획득경로로 평가
- 특히, 기술적인 측면에 근거하여 수행하며, 종합적인 능력을 평가하기 위해 무기급 핵물질을 획득하는데 필요한 주요 핵연료 주기 공정의 과거, 현재 및 미래의 능력에 대한 정보 포함
- 획득경로를 도출하기 위해서는 1 SQ 이상의 핵물질 생산 완료시간이 필요하며 실제로 핵물질을 생산하는 데에 소요되는 시간(lead time) 외에도 국가가 부족한 능력을 개발하는 데에 필요한 시간(processing time)을 모두 포함함



획득경로 분석 방법론 예시



경로 완료시간



## 2.2. 획득경로분석 방법론 (APA, Acquisition Path Analysis) – 2

○ 획득경로를 유형화하면 다음의 다섯 가지로 구분할 수 있음

- P(indigenous **P**roduction) : pre34(c) 핵물질의 생산
- D(**D**iversion) : 핵물질의 운송을 포함하여 신고된 시설 또는 시설외지점(LOF, Location Outside Facility)에 신고된 핵물질의 전용
- M(**M**isuse) : 신고된 시설 또는 시설외지점에서 미신고된 핵물질의 생산 또는 공정작업
- F(undeclared **F**acility) : 미신고된 시설에서 미신고된 핵물질의 생산 또는 공정작업
- I(undeclared **I**mport) : 핵물질의 미신고 수입국가의 정보를 평가하는 방식을 개별 시설을 평가하는 것에서 통합적인 관점에서 평가하는 것으로 확대하여 국가수준 접근법 개발

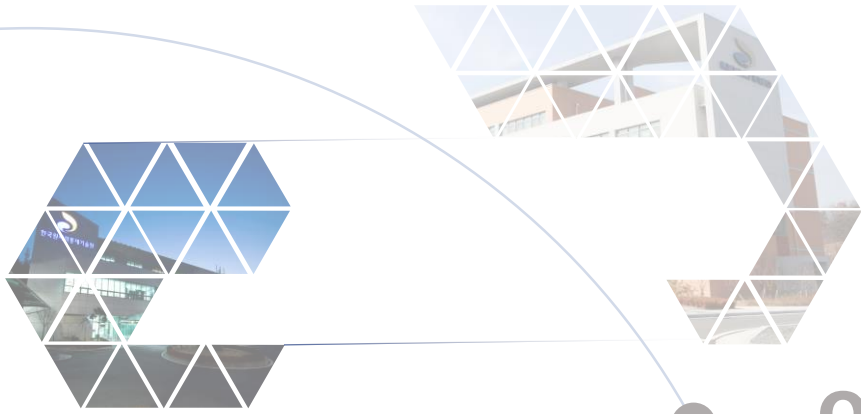


획득경로 분석  
방법론 예시

## 2.3. 획득경로 분석 시 활용되는 정보 목록

- 국가의 현재 핵연료주기 관련 능력, 기반시설 및 핵물질 보유량
  - 신고된 시설과 시설 외 지점에서 보유하고 있는 핵물질의 양과 흐름
  - 신고된 위치
  - 핵물질의 수출입 현황
  - 연구개발 활동
  - 비핵물품 및 장비의 수출입 현황
  - 우라늄 광산과 정광 시설
  - 원자력과 관련된 산업능력
  - 보유하고 있는 pre-34(c) 핵물질
  - 면제된 핵물질
  - 핵물질을 포함한 방사성 폐기물
  
- 국가의 과거 및 계획되어 있는 핵연료주기 관련 능력
  
- Anomalies, inconsistencies, 문제점 및 후속조치

# Contents



● 연구배경

● 기본이론

● **모델개발**

● 결과 및 시사점

## 3.1. 획득경로분석 방법론 적용을 위한 절차

- 해당 국가의 핵능력 관련 정보 취득
  - 정보 출처
    - 안전조치 협정에 따라 국가가 제공하는 정보
    - 안전조치 활동을 통해 확인한 정보
    - 오픈소스 분석을 통해 획득한 정보
  - 포함정보 : 과거, 현재, 현재 진행 중인 핵연료 주기 관련 역량 및 인프라에 대한 정보
- 해당 국가 대상으로 실현 가능한 획득경로 식별
  - 신고된 정보를 기반으로 하되, 미보유 시설의 경우 미신고 시설을 운영함을 가정
  - IAEA의 획득경로분석 방법론에 따라 P, D, M, F, I로 구분
  - 직관적으로 획득경로를 파악할 수 있도록 시각적인 다이어그램으로 제시
- 식별된 획득경로에 따라 전용 시나리오 평가
  - 신고 되지 않은 활동의 경우 기술수준(H, M, L)을 구분하여 Lead time 차등 적용
  - 중간에 안전조치 접근법을 통해 의혹을 해소하는 등의 시나리오 추가 고려
- 획득경로 별 비교 평가 수행
  - 도출된 경로별 1 SQ의 핵물질을 생산하는 데에 소요되는 시간을 평가
  - 단, 보수적으로 Lead time은 개발에 소요되는 시간이 가장 오래 걸리는 시설을 기준으로 산정

## 3.2. 시뮬레이션 도구로 재현하기 위한 고려사항

### ○ 전체적인 논리 구조

- 물질수지 연산을 위한 핵주기 모델 기반
- 대상이 되는 핵물질(HEU, Pu)의 흐름을 시간의 흐름에 따라 표현
- 미보유 시설의 경우 1SQ 생산에 최적화되어 있는 미신고 시설 운영을 가정
- 획득경로에 대한 모든 경우의 수 도출
- 핵물질 재고에 대한 데이터가 존재하는 경우 다음 핵주기 시설로 데이터 push  
핵물질 재고에 대한 데이터가 존재하지 않는 경우 다음 핵주기 시설로부터 데이터 pull

### ○ 요구되는 입력값

- 특정국가의 핵능력
  - 보유중인 핵연료 주기 시설
  - 보유중인 핵물질 재고량
- 전용 개시 지점
- 특정 국가의 기술수준

### ○ 예상되는 결과값

- 대상 핵물질(HEU, Pu) 생산량
- 획득 경로 목록
- 1 SQ 도달에 소요되는 시간



## 3.2. 시뮬레이션 도구로 재현하기 위한 고려사항

	Declared Facility (Diversion)		Undeclared Import	Declared Facility (Misuse)		Undeclared Facility
Mine	NU		NU			NU
	U Mine		Import			U mine
	P1-1		I1			P1-2
Conversion 1	NU	NU	NU			
	Conversion	LOF	Import	Conversion		Conversion
	D2-1	D2-2	I2	M2		F2
Enrichment	NU	NU	NU			
	Enrichment	LOF	Import	Enrichment		Enrichment
	D3-1	D3-2	I3	M3		F3
Conversion 2	EU, DU	EU, DU	EU, DU			
	Conversion	LOF	Import	Conversion	LOF	Conversion
	D4-1	D4-2	I4	M4-1	M4-2	F4
Fabrication	FF		FF			
	Fabrication		Import	Fabrication		Fabrication
	D5		I5	M5		F5
Reactor(Irr)	FF	FF				
	Power Reactor	Research Reactor		Power Reactor	Research Reactor	Power Reactor
	D6-1	D6-2		M6-1	M6-2	F6
Storage	SF	SF	SF			
	Interim Storage	LOF	Import			Interim Storage
	D7-1	D7-2	I7			F7
Reprocessing	SF	SF	SF			
	Reprocessing	Hot cell	Import	Reprocessing	Hot cell	Reprocessing
	D8-1	D8-2	I8	M8-1	M8-2	F8
Conversion3	EU, MOX	EU, MOX	EU, MOX			
	Conversion	LOF	Import	Conversion		Conversion
	D9-1	D9-2	I9	M9		F9
Product		Pu Metal			HEU Metal	

Layer	Start	Process	End
1	P1-1, I1, P1-2	-	
2	D2-1, D2-2, I2	M2, F2	
3	D3-1, D3-2, I3	M3, F3	
4	D4-1, D4-2, I4	M4-1, M4-2, F4	HEU
5	D5, I5	M5, F5	
6	D6-1, D6-2	M6-1, M6-2, F6	
7	D7-1, D7-2, I7	F7	
8	D8-1, D8-2, I8	M8-1, M8-2, F8	
9	D9-1, D9-2, I9	M9, F9	
10	-	-	Pu

- 모든 핵주기 시설을 보유하는 경우를 토대로 경우의 수 도출
- 전용이 시작되는 지점을 9단계로 구분
- 시작 지점부터 대상 핵물질(HEU, Pu) 생산되는 시설까지의 과정을 M, F로 구분하여 경우의 수 도출

# 3.3. 시뮬레이션 화면 - 1

SLA : Simulation - AnyLogic Professional [EVALUATION USE ONLY]

**SLA**

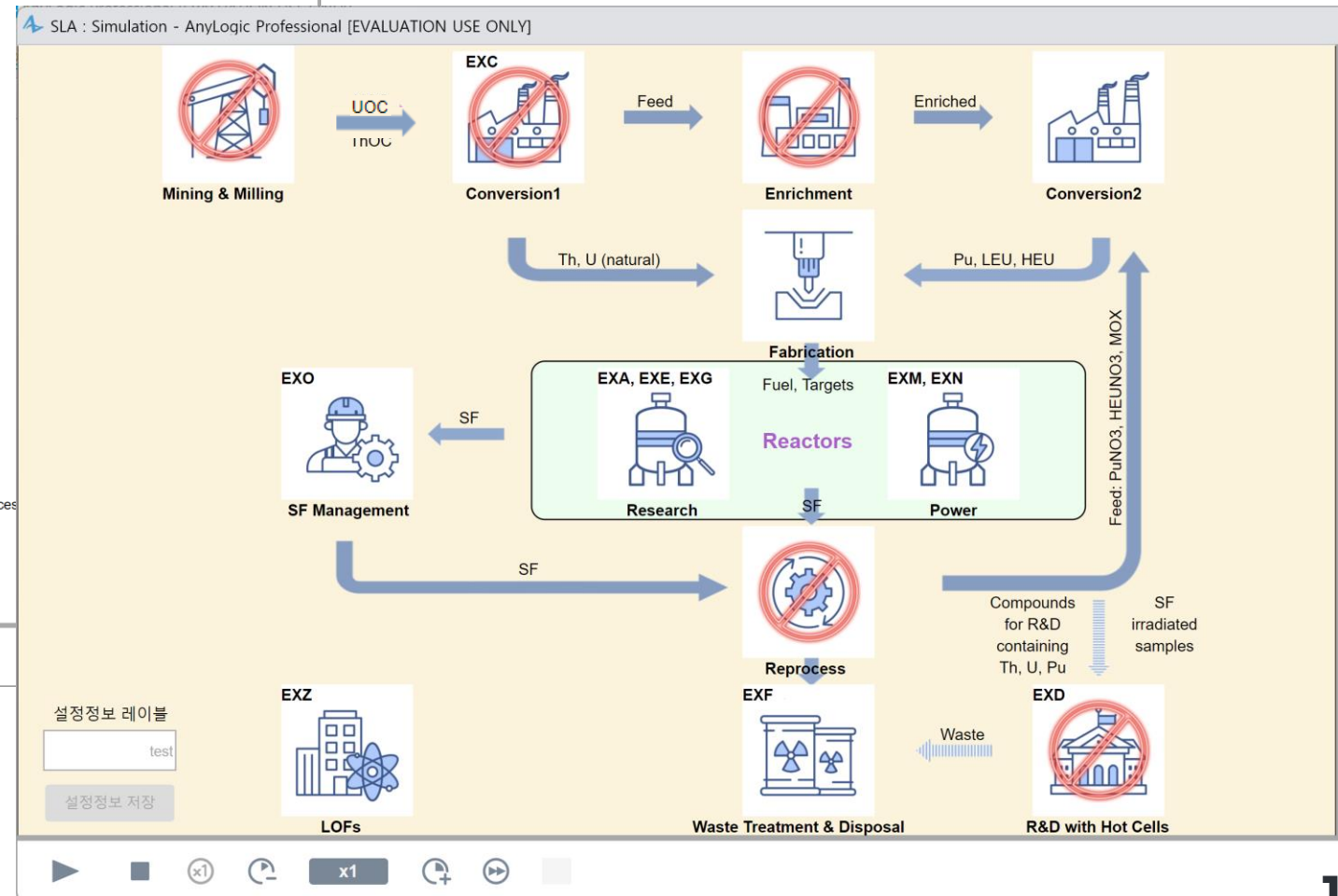
Mining & Milling     Conversion1     Enrichment     Conversion2  
 Fabrication  
 Management     Research     Power  
 Reprocess  
 LOFs     SpentFuel     R&D

최종 결과물    원자로 유형    발전용 원자로 유형  
 Pu    HEU     발전용    실험용     PWR    SMR

전용 시점  
 Mine    Conversion1    Enrichment    Conversion2    Fabrication    Reactor    Storage    Reprocess

(입력화면)

- 보유 시설 목록에 따라 Fuel cycle 구성
- 미보유 시설의 경우 연간 1SQ 생산시설 가정
- Pu cycle에서 front-end cycle의 경우, 1SQ만큼의 Pu 생산이 가능한 Fresh fuel의 양을 1SQ의 기준으로 설정



(입력화면)

- 특정 국가의 보유 시설 목록
- Fuel cycle 유형 (HEU, Pu)
- 원자로 유형 (GCR, PWR, SMR)
- 전용 시작 지점

# 3.3. 시뮬레이션 화면 - 2

**Screen 1: Mining and Enrichment**

확실 유래물 매장량 [kg]	7.0E8	확인 시설 유래물 채광률 [kg/day]	5000000.0	미확인 시설 유래물 채광률 [kg/day]	3000000.0
추정 유래물 매장량 [kg]	3.5E9	확인 시설 유래물 분석률 [kg/day]	3000000.0	미확인 시설 유래물 분석률 [kg/day]	2000000.0
유래물 매장량 확인율 [kg/day]	1000000.0	YC 수입량 [kg/d]	1000.0	YC 수입주기 [day]	10
유래물 분석률	0.99	유래물 원재 수입량 [kg]	500.0	유래물 원재 수입주기 [day]	20
설정 및 계산 시작		1SQ [kg]			1.0E7

**Screen 2: Uranium Enrichment**

UF6 생산을 위한 확인 시설 YC 수입률 [kg/day]	50000.0	UF6 생산을 위한 LOF YC 수입률 [kg/day]	10000.0	UF6 생산을 위한 미확인 시설 YC 수입률 [kg/day]	20000.0
확인 시설 UF6 생산 수율	0.99	LOF UF6 생산 수율	0.99	미확인 시설 UF6 생산 수율	0.99
UF6 생산을 위한 확인 시설 YC 수입률 [kg/day]	30000.0	UF6 생산을 위한 LOF YC 수입률 [kg/day]	5000.0	UF6 생산을 위한 미확인 시설 YC 수입률 [kg/day]	5000.0
확인 시설 UMetal 생산 수율	0.99	LOF UMetal 생산 수율	0.99	미확인 시설 UMetal 생산 수율	0.99
설정 및 계산 진행					

**Screen 3: Uranium Oxide Conversion**

PR Separative Work Unit	7.800e+05	RR Separative Work Unit	1.406e+04		
[DF] 발전용 원전 천연료 농축 UF8 소모율 [kg/d]	50000.0	[UF] 발전용 원전 천연료 농축 UF8 소모율 [kg/d]	50000.0	PR 농축유래물 수입량 [kg]	1000.0
[DF] 연구용 원전 천연료 농축 UF8 소모율 [kg/d]	1000.0	[UF] 연구용 원전 천연료 농축 UF8 소모율 [kg/d]	1000.0	RR 농축유래물 수입량 [kg]	100.0
[LOF] 발전용 원전 천연료 농축 UF9 소모율 [kg/d]	50000.0	발전용 원자로	No	발전용 원자로	No
[LOF] 연구용 원전 천연료 농축 UF9 소모율 [kg/d]	1000.0	연구용 원자로	No	연구용 원자로	No
설정 및 계산 진행					

**Control Panels (Common to all screens):**

UF2 생산을 위한 확인 시설 PREU 수입률 [kg/d]	5000.0	UF2 생산을 위한 LOF PREU 수입률 [kg/d]	1000.0	UF2 생산을 위한 미확인 시설 PREU 수입률 [kg/d]	3000.0	UF2 생산을 위한 확인 시설 RREU 수입률 [kg/d]	3.0	UF2 생산을 위한 LOF RREU 수입률 [kg/d]	1.0	UF2 생산을 위한 미확인 시설 RREU 수입률 [kg/d]	0.5
확인 시설 UO2PR 생산 수율	0.99	LOF UO2PR 생산 수율	0.99	미확인 시설 UO2PR 생산 수율	0.99	확인 시설 UO2RR 생산 수율	0.99	LOF UO2RR 생산 수율	0.99	미확인 시설 UO2RR 생산 수율	0.99
UO2PR 수입량 [kg/d]	1000.0	UO2PR 수입주기 [day]	10	UO2RR 1SQ	16000.0	UO2RR 수입량 [kg/d]	1.0	UO2RR 수입주기 [day]	10	UO2RR 1SQ	12.0

(입력 및 연산화면)

- 시설 개요 및 가동 정보
- 미보유 시설의 경우 기준 데이터로 자동 연산
- 재고량이 존재하는 경우, 재고량 데이터 입력
- 1 SQ 생산에 소요되는 시간 연산
- 미보유 시설의 경우 국가의 기술 달성도에 따라 Lead time 차등 반영

# 3.3. 시뮬레이션 화면 - 3

The screenshot displays the AnyLogic Professional simulation environment for a nuclear reactor system. It features several overlapping windows:

- Process Flow Diagram (Top Left):** Shows the material flow between components like LoadedUO2PR, FAPR, FARR, and various flow rates (e.g., FAPRFabRate, FARRFabRate).
- Parameter Settings (Left Panel):** A grid of input fields for various parameters such as DF (Debris Flow), UF (Uranium Flow), and SF (Spent Fuel) for different reactor types (FAPR, FARR, FAGCR).
- Monitoring Windows (Center and Right):** Multiple panels showing real-time data for Quality, IRT (Intermediate Reactor Temperature), and GCR (Global Core Reactivity) for units U238 and Pu239. Each window includes a graph and a 'Quality' indicator.
- Control Panel (Bottom):** Contains simulation controls like play, stop, and zoom, along with a '설정 및 계산진행' (Settings and Calculation) button.

(입력 및 연산화면)

- 시설 개요 및 가동 정보
- 원자로의 경우 크기는 발전용과 연구용으로 구분
- 발전용 원자로는 다시 GCR, PWR, SMR로 구분 (추후 확장 예정)
- 기존의 Runge-Kutta method를 Series Expansion method로 변경(거시 모델에 유리)
- 노형의 다양화를 위해 Decay chain을 별도의 class로 지정하여 연산
- Pu-239 생산량 및 Pu Quality 연산

# 3.3. 시뮬레이션 화면 - 4

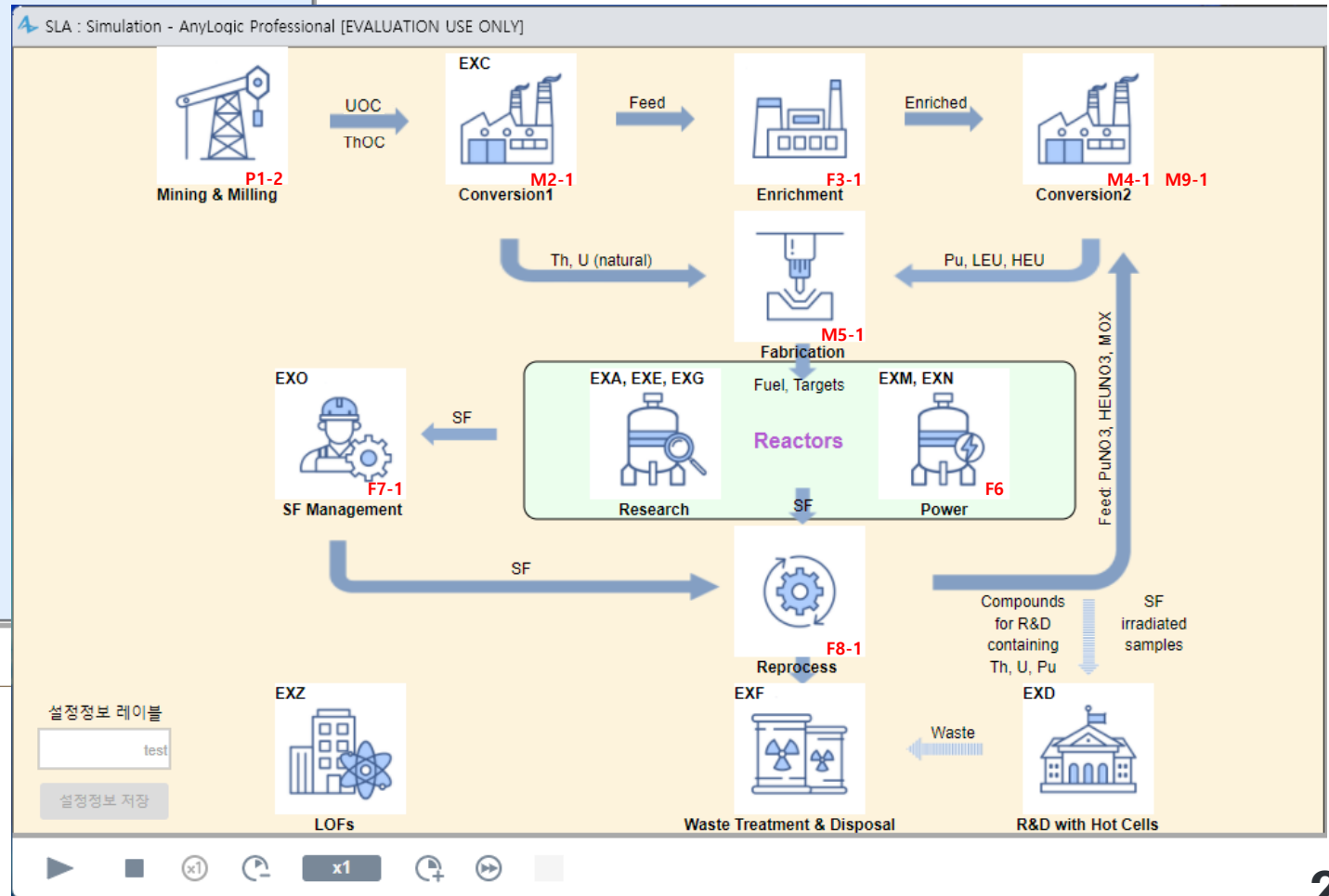
SLA : Simulation - AnyLogic Professional [EVALUATION USE ONLY]

전용 경로 리스트

- P1-2->M2-1->F3-1->M4-1->M5-1->F6-1->F7-1->F8-1->M9-1
- P1-2->M2-1->F3-1->M4-1->M5-1->F6-1->F7-1->M8-1->M9-1
- P1-2->M2-1->F3-1->M4-1->M5-1->F6-1->F7-1->M8-2->M9-1
- P1-2->M2-1->F3-1->M4-1->M5-1->M6-1->F7-1->F8-1->M9-1
- P1-2->M2-1->F3-1->M4-1->M5-1->M6-1->F7-1->M8-1->M9-1
- P1-2->M2-1->F3-1->M4-1->M5-1->M6-1->F7-1->M8-2->M9-1
- P1-2->M2-1->M3-1->M4-1->M5-1->F6-1->F7-1->F8-1->M9-1
- P1-2->M2-1->M3-1->M4-1->M5-1->F6-1->F7-1->M8-1->M9-1
- P1-2->M2-1->M3-1->M4-1->M5-1->F6-1->F7-1->M8-2->M9-1
- P1-2->M2-1->M3-1->M4-1->M5-1->M6-1->F7-1->F8-1->M9-1
- P1-2->M2-1->M3-1->M4-1->M5-1->M6-1->F7-1->M8-1->M9-1
- P1-2->M2-1->M3-1->M4-1->M5-1->M6-1->F7-1->M8-2->M9-1
- P1-1->M2-1->F3-1->M4-1->M5-1->F6-1->F7-1->F8-1->M9-1
- P1-1->M2-1->F3-1->M4-1->M5-1->F6-1->F7-1->M8-1->M9-1
- P1-1->M2-1->F3-1->M4-1->M5-1->M6-1->F7-1->F8-1->M9-1
- P1-1->M2-1->F3-1->M4-1->M5-1->M6-1->F7-1->M8-1->M9-1
- P1-1->M2-1->F3-1->M4-1->M5-1->M6-1->F7-1->M8-2->M9-1
- P1-1->M2-1->M3-1->M4-1->M5-1->F6-1->F7-1->F8-1->M9-1
- P1-1->M2-1->M3-1->M4-1->M5-1->F6-1->F7-1->M8-1->M9-1
- P1-1->M2-1->M3-1->M4-1->M5-1->F6-1->F7-1->M8-2->M9-1
- P1-1->M2-1->M3-1->M4-1->M5-1->M6-1->F7-1->F8-1->M9-1
- P1-1->M2-1->M3-1->M4-1->M5-1->M6-1->F7-1->M8-1->M9-1
- P1-1->M2-1->M3-1->M4-1->M5-1->M6-1->F7-1->M8-2->M9-1

처리시간 [day]

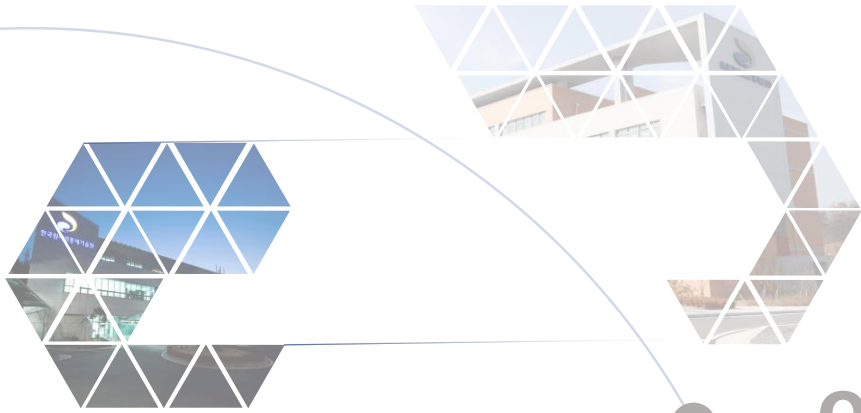
46.19619



(출력화면)

- 획득경로 목록
- 소요시간이 짧은 순으로 정렬
- 1 SQ 도달 시간이 가장 짧은 경로를 다이어그램에 표시

# Contents



● 연구배경

● 기본이론

● 모델개발

● **결과 및 시사점**

## 4.1. 시뮬레이션 결과 (도출된 경우의 수)

### ○ 대상 핵물질 유형 및 전용 시작 지점에 따라 다양한 경우의 도출

#### • HEU Cycle

- ✓ Layer 3 : 3가지
- ✓ Layer 2 : 6가지
- ✓ Layer 1 : 12가지

#### • Pu Cycle

- ✓ Layer 9 : 3가지
- ✓ Layer 8 : 6가지
- ✓ Layer 7 : 18가지
- ✓ Layer 6 : 12가지
- ✓ Layer 5 : 36가지
- ✓ Layer 4 : 108가지
- ✓ Layer 3 : 324가지
- ✓ Layer 2 : 648가지
- ✓ Layer 1 : 1,296가지

### ○ 경로 별 전용시간 및 생산량 추정

#### • 정상적으로 연산됨을 확인

(동적 시뮬레이션을 이용한 핵물질 생산량 추정 및 1 SQ 획득 소요 시간, 획득경로 목록화 등)

#### • 구체적인 입력 정보에 대한 접근이 제한적으로 실질적 연산 및 검증 미실시

## 4.2. 한계점 및 개선요구사항

- 시뮬레이션 상에서는 시설에서의 전용을 가정하고 있으나 동일 시설 내에서도 전용 시나리오가 다양 (예시) 사용후핵연료 전용하는 경우, 집합체-다발-펠릿 등 다양한 형태의 전용 가능
  - 보수적으로 가장 많은 양을 전용하는 시나리오를 가정
- 민감핵연료주기 시설(농축, 재처리 등) 정보에 대한 제한
  - IAEA SGIM 등 전문기관과의 협력 추진
  - 모델에서 입력정보에 대한 수정이 용이하도록 확장성 부여
- 국가의 기술수준에 대한 객관적 평가가 어렵고, 적층제조기술의 발달 등 기술의 장벽이 낮아짐
  - 기술수준에 대해 시설 별 동일 기준 적용  
(민감핵연료주기 관련 활동 있는 경우 H, 일반적 원자력 활동의 경우 M, 그렇지 않은 경우 L)
- 북한의 핵물질수지 평가 모델을 기반으로 구축한 APA 모델로서 북한의 핵연료주기 시설을 뼈대로 활용
  - 보다 다양한 유형의 시설에 대한 확장성 보완 필요
- 보다 효율적인 규제 체제 도입을 위해 최단 전용 경로 도출 뿐만 아니라 도출된 경로 내 핵확산성에 대한 정량평가 필요
  - 핵물질 매력도 등 경로 내에서의 정량평가 인자 도출 및 적용





Q & A