



원자력분야 AI와 관련한 인식과 이해 제고 동향

2023. 10. 26

박창호 (AI프렌즈)

TABLE OF CONTENT

- 원자력 분야 AI adoption은 먼 미래의 일일까 ?
- AI Agile Transformation 및 AI Readiness와 관련한 인식·이해제고 동향

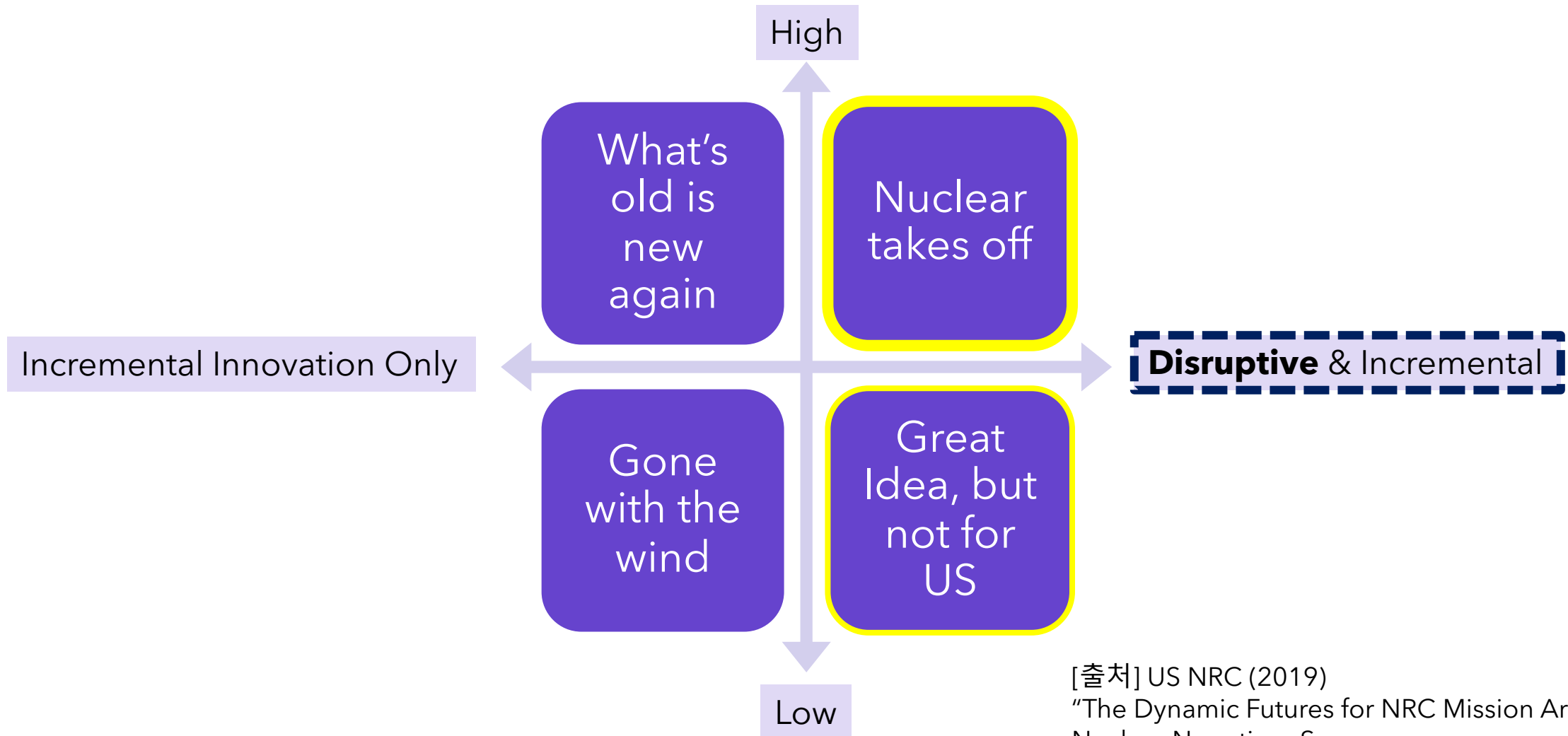




원자력 분야
AI ADOPTION은
먼 미래의 일일까?

미래 원자력에 관한 가상 시나리오('19년 미국)

- GLOBAL REACTOR INNOVATION(혁신)
X US NUCLEAR POWER DEMAND(원전 수요)



[출처] US NRC (2019)
"The Dynamic Futures for NRC Mission Areas",
Nuclear Narratives Summary

興 시 나 리 오 : N U C L E A R T A K E S O F

- 미국과 전 세계적으로 에너지 수요가 급증 (주로, 차량의 급속한 전기화)
- 한편, 기후 변화 우려로 청정 에너지원과 더불어 미국내 수요충족 위해 원자력 발전도 필요
- 전 세계적으로 원자력 사용과 공급이 증가함에 따라 국제적으로 규제의 조화가 더욱 강화
- **소형 모듈형 원자로(SMR)가 널리 보급, 첨단 비경수로(Advanced non-light reactor) 기술과 마이크로 원자로(micro reactor) 기술도 크게 발전**
- 원자력 수요로 인해 원자력 교육/경험 가진 사람들을 고용-유지하기 위한 경쟁 치열

예상 시나리오(興) : NUCLEAR TAKES OFF

미국에서는 소형 원자로(smaller)의 지속적 성장이 예상
Advanced SMR이 새로운 애플리케이션에 널리 배포

By 2025

Beyond 2030

In 2030

새로운 참여자, 새로운 기술 및 설계, 기존 발전소를 넘어서는
새로운 애플리케이션을 추가하며 원자력산업이 성장

[출처] US NRC (2019)
"The Dynamic Futures for NRC Mission Areas"

미래 (興) 시나리오가 NRC에 미치는 영향

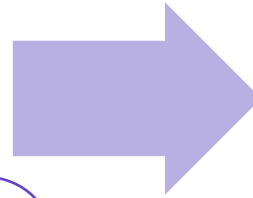
- 예상 시나리오 : NUCLEAR TAKES OF

구분	내용
Operating Reactors	원자로 수명 연장, 디지털 I&C 도입 및 탐색 기타 혁신 (예: AI) 의 경우 추가 리소스 필요 잠재적으로 새로운 기술이 필요
New and advanced reactors	많은 수, 새로운 기술 , 다양한 디자인으로 인해 NRC는 더 많은 용량과 새로운 접근 방식을 필요로 함
Licensing	SMR에서 고급 원자로 에 이르기까지 다양한 신규 설계 및 애플리케이션에 대한 새로운 이슈로 인해 업무량이 증가함에 따라 위험에 기반한 간소화된 라이선싱 프로세스 및 의사 결정이 필요
Oversight	확장된 사이트, 설계 및 애플리케이션은 각 기술 및 상황의 실제 위험 프로필을 반영하는 검사(oversight) 접근 방식을 재고할 것을 요구
Research	혁신과 새로운 관행은 새로운 연료, 건설 자재, 원자로 설계, AI 및 RPA 사용 , 디지털 I&C 채택 등 다양한 분야에 걸친 연구와 포트폴리오 관리를 요구

[출처] US NRC (2019)
 "The Dynamic Futures for NRC Mission Areas"

The Dynamic Futures for NRC Mission Areas (2019)

- **Increasing the Agility** of the Organization;
- Enhancing the NRC's Strategy, Governance, and Culture;
- Preparing for Human Capital Changes;
- **Increasing Efficiency Through Technology**;
- Engaging with Future Stakeholders.



NRC's AI Strategic Plan (2023.5)

- **Ensure NRC readiness** for regulatory decision-making.
- **Establish organizational framework to review AI applications.**
- Strengthen and expand AI partnerships.
- Cultivate and AI proficient workforce.
- Pursue use cases to build an AI foundation across the NRC



ARTIFICIAL INTELLIGENCE PROJECT PLAN, REVISION 0 : ENSURE NRC READINESS FOR REGULATORY DECISION-MAKING

- Regulatory Framework Applicability Assessment of AI in Nuclear Application
- Standard Applicability Assessment of AI in Nuclear Application
- AI Safety and Security Evaluation Framework for Nuclear Application
- Pre-Application Communication and Planning for AI Submittals
- Develop Regulatory Framework for AI-Enabled Autonomous Nuclear Operations

[출처] US NRC (2023)

Artificial Intelligence Project Plan, Revision 0

ENSURE NRC 'READINESS' FOR REGULATORY DECISION-MAKING

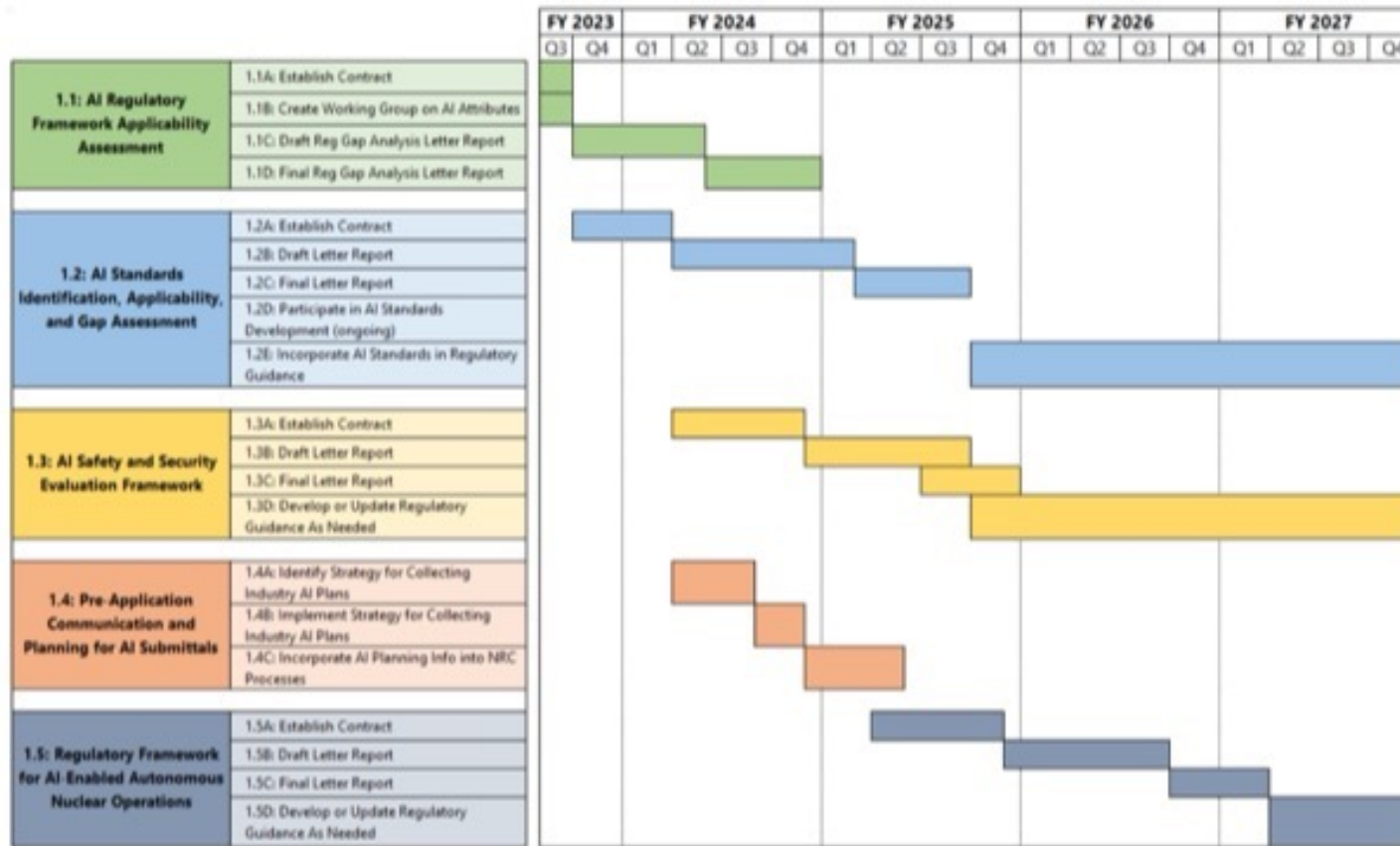
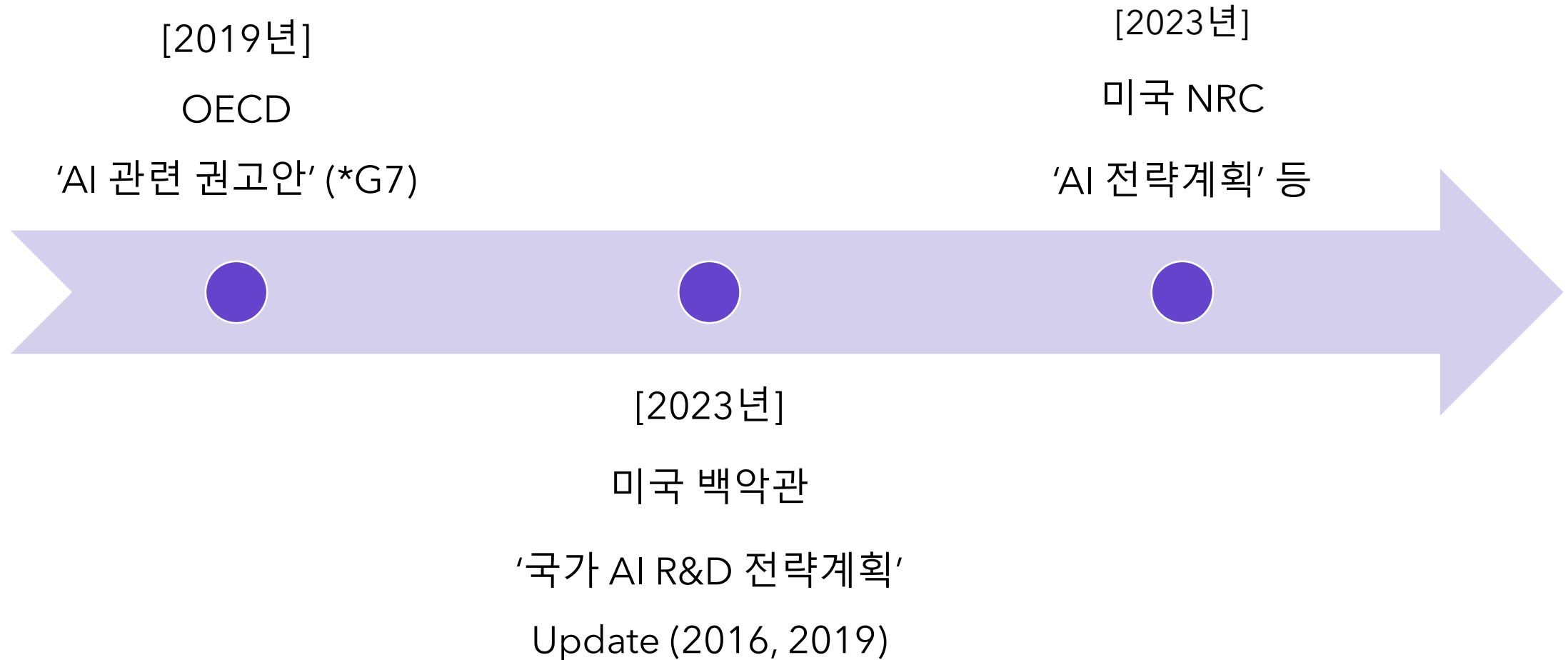


Figure 1 Gantt chart for tasks supporting AI Strategic Goal 1

[출처] US NRC (2023)
Artificial Intelligence Project Plan, Revision 0

미국 NRC 'AI 전략계획' 등장 의 맥락



OECD 2019년도 'AI 관련 권고안'

(RECOMMENDATION OF THE COUNCIL ON AI)

- 회원국 정부는 신뢰할 수 있는(trustworthy) AI 시스템을 위해 연구 개발 단계에서 배포(deployment) 및 운영(operation) 단계로 민첩하게 전환(agile transition)할 수 있도록 지원하는 정책 환경을 조성해야 하며,
- 이를 위해 정부가 실험을 통해 AI 시스템을 테스트하고 적절하게 확장할 수 있는 통제된 환경을 제공하는 것을 고려해야 함

NATIONAL AI R&D STRATEGIC PLAN 2023 UPDATE (미국 백악관)

- 이러한 맥락에서 미국은 2023년도 5월 '국가 AI R&D 전략계획 업데이트'를 백악관이 발표
- 이 전략계획은 2016년과 2019년에 발표된 미국 '국가 AI R&D 전략 계획'의 8가지 전략을 재확인하고 9번째 전략을 추가해 AI 연구 분야의 국제 협력에 대한 원칙적이고 조율된 접근 방식을 강조
- 이 전략계획에 따르면, 미국은 AI가 우리 시대의 가장 강력한 기술 중 하나이며 AI가 제시하는 기회를 포착하기 위해서 AI의 주요 연구 과제를 정의하고 신뢰할 수 있는 AI 시스템의 개발과 사용에서 미국의 지속적인 리더십을 보장하고 모든 美 연방 기관에서 진행 중인 AI 활동을 조율한다고 밝힘

美 DOE의 대응

ARGONNE (2022) :
원자로 운영 및 유지 관리를
간소화하는 시스템 구축

Domain	Subdomain	Application
Maintenance	Component-Level Health Monitoring	Single-Phase Heat Exchanger
		Feedwater Pump-Motor Set
	System-Wide Health Monitoring	High Pressure Feedwater System
Operation	Performance Prediction	Power Conversion System
		Inherent Safety Response
		BWR Moisture Carryover

[출처] <https://www.anl.gov/nse/ai-ml/applications-examples>

Exploring Advanced Computational Tools and Techniques with Artificial Intelligence and Machine Learning in Operating Nuclear Plants

Manuscript Completed: September 2021
Date Published: February 2022

Prepared by:

Z. Ma¹
H. Bao¹
S. Zhang¹
M. Xian²
A. Mack¹

¹Idaho National Laboratory
Idaho Falls, Idaho 83415

²University of Idaho, Idaho Falls
Idaho Falls, ID 83402

John Lane, NRC Project Manager

Office of Nuclear Regulatory Research

DoE/INL x NRC

INL/RPT-22-68942
Revision 0

Light Water Reactor Sustainability Program

Technical Basis for Advanced Artificial Intelligence and Machine Learning Adoption in Nuclear Power Plants



September 2022

U.S. Department of Energy
Office of Nuclear Energy

INL/RPT-23-74159
Revision 0

Light Water Reactor Sustainability Program

Explainable Artificial Intelligence Technology for Predictive Maintenance



August 2023

U.S. Department of Energy
Office of Nuclear Energy

미국 원자력 AI, 두 개의 의미있는 키워드

- Agility
- Readiness



AI 준비도 (READINESS)

- 유엔산업개발기구(UNIDO), '98년도부터 매년 회원국의 '정부 인공지능 준비 지수(Government AI Readiness Index)'를 평가해 발표
- UNIDO의 정부 AI 준비도 평가는 (1)정부, (2)테크놀로지, (3)데이터·인프라 세부분에 걸쳐 이루어지고 있음
- 테크놀로지 부문 세부평가 지표는 혁신역량(Innovation Capacity)과 인적자원(Human Capital) 등으로 구성됨.
- 참고로, UNIDO의 '22년도 평가에서 **우리나라는 전세계 181개국 중 6위**. 전체 평가 1위 국가인 미국과 비교해 **테크놀로지 부문에서는 다소 큰 격차를 나타냄**

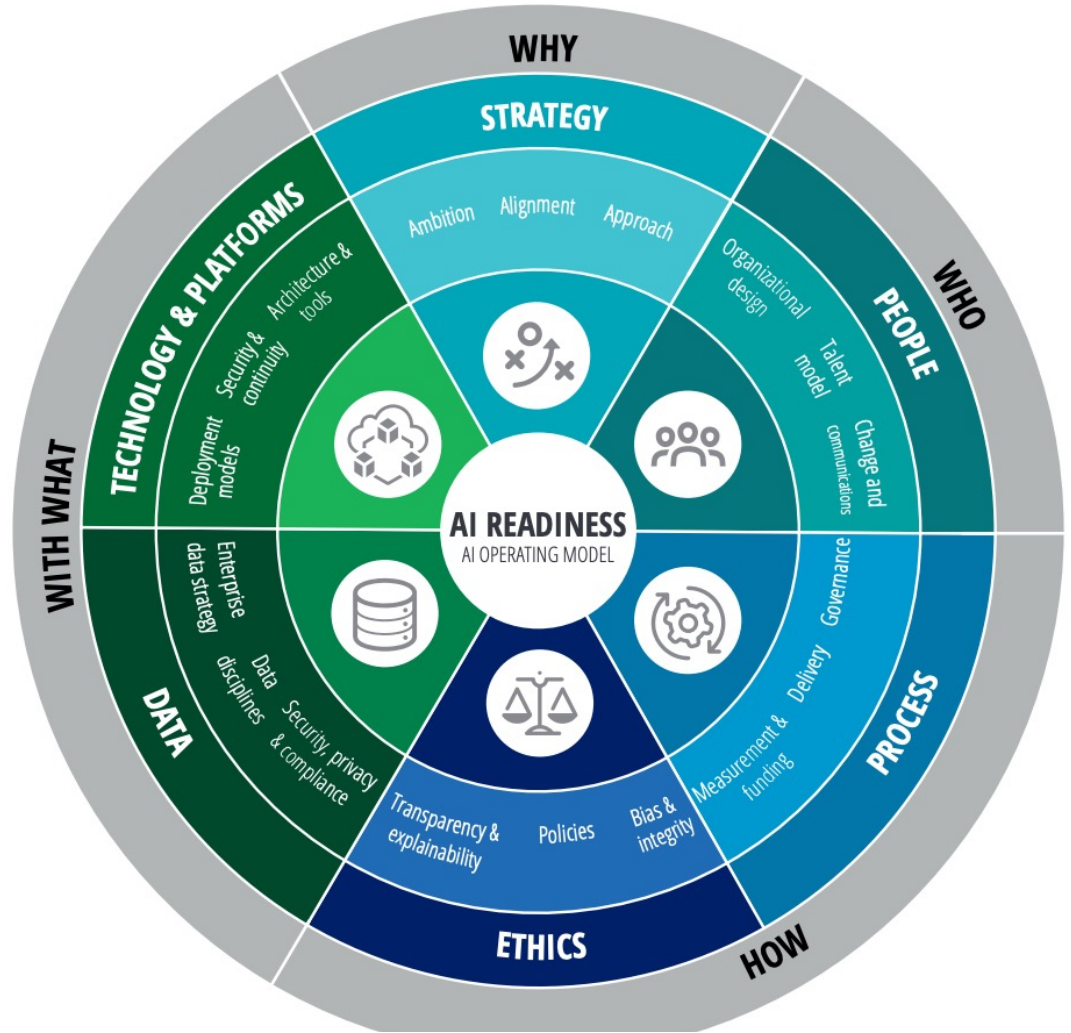
UNIDO, 정부 'AI 준비도' 기술부문 평가지표

Dimension	Description
Innovation Capacity (혁신역량)	Does the technology sector have the right conditions to support innovation?
Human Capital (인적자원)	Are there the right skills in the population to support the technology sector?

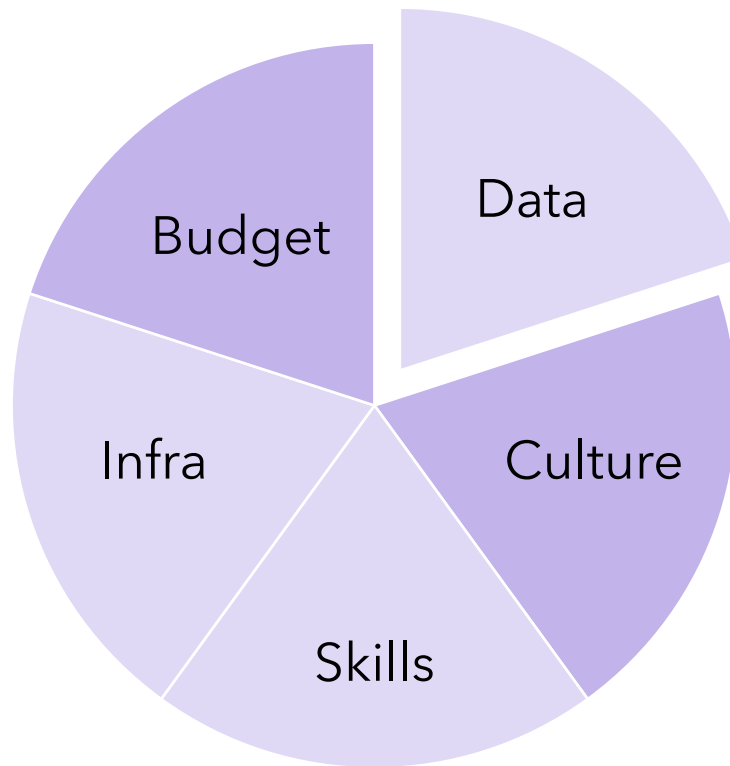
[참고]
정부 AI 준비도
평가지표(딜로이트)

[출처] Delloite(2020), 'AI Readiness
for Government'

AI readiness can be assessed in six areas



B-CIDS : AI 준비를 위한 5개 축




[출처] Ganesan (2022) 'The Business Case for AI'



AI AGILE
TRANSFORMATION과
AI READINESS를 위한


인식·이해제고 동향

2023년도 국제원자력기구 정기총회 과학포럼 - 'NUCLEAR INNOVATIONS FOR NET ZERO'




SCIENTIFIC FORUM
NUCLEAR ENERGY FOR CLIMATE

**Artificial Intelligence and Machine Learning
for Nuclear Operation and Maintenance**



Vivek Agarwal
Idaho National Laboratory



2023

Enhancing nuclear power production with artificial intelligence

By Wolfgang Picot

Artificial intelligence (AI) holds promising potential for advancing nuclear energy production. These sophisticated computer systems mimic human logic in problem solving and decision making. With its capability to enhance efficiency, automation, safety and predictive maintenance, as well as to optimize processes, AI is already making strides in some areas of the nuclear field.

AI is an umbrella term, encompassing various technologies developed over decades. It ranges from simple computer programs, such as spam filters, to more advanced concepts like machine learning, where computers learn from past experiences through extensive training using large amounts of data. With the advent of highly potent microchips, deep learning, which involves artificial neural networks modelled after the human brain, emerged.

Generative AI, a subset of deep learning, has captivated the public's attention by crafting original texts, images and videos. It is highly versatile and can be adapted to many different functions or activities. "There is legitimate excitement about what generative tools can do," said Jeremy Renshaw, an expert on technology innovation at the Electric Power Research Institute, known as EPRI. "Existing

models are very powerful, and there is currently a lot of effort to develop new and better tools."

While generative AI can help with administrative tasks, as in other industries, its use in operating nuclear power plants (NPPs) is not yet possible due to its novelty and opaqueness; it is not yet entirely understood how artificial networks function and come to conclusions. More transparent systems called explainable generative AI hold promise for broader use in NPP operations. Developments towards such AI are underway, and Renshaw is confident that, when realized, it will allow for the use of AI in NPPs in the foreseeable future.

Machine learning applications

Machine learning has been applied in the nuclear industry for some time and has proven useful in various areas. Operators leverage machine learning algorithms for real-time monitoring and predictive maintenance. The software efficiently identifies anomalies by sifting through copious sensor data, allowing human analysts to focus on potential irregularities. "The inspector only looks at pertinent data. Instead of searching for the 'needle in the haystack', we remove the haystack," Renshaw said.

"AI, together with other technologies, like digital twins, could decisively boost the efficiency of nuclear power production."

— Nelly Ngoy Kubelwa,
Nuclear Engineer, IAEA

IAEA
BULLETIN
(6 4 - 9)
로 발 간

2023년도 국제원자력기구 정기총회 결의안

원자력 과학, 기술 및 응용과 관련된 IAEA의 활동
강화 : IAEA GC(67)/RES/10

- IAEA 사무국이 회원국과의 긴밀한 협의를 통해 핵 과학, 기술 및 응용을 지원하는 데 있어 인공지능(AI)의 잠재적인 용도를 계속 식별하고, 이 분야에서 진전이 있을 경우 회원국에 알릴 것을 요청함
- IAEA 사무국이 CRP를 통해 회원국을 계속 지원하고 이러한 노력을 지원하기 위해 적절한 자원 동원을 장려할 것을 요청함

[출처 <https://www.iaea.org/about/governance/general-conference/gc67/resolutions>]

IAEA NUCLEAR TECHNOLOGY REVIEW 2023 (#1)

- 강력한 컴퓨팅 기능과 데이터 분석 도구의 출현으로 원자력 산업은 인공지능(AI), 머신러닝(ML), 딥러닝 기술을 접목해 운영시스템과 장·단기 유지보수 시스템, 첨단 제조기술 등을 혁신하고 있음
- 원자력 산업은 혁신적인 비즈니스 모델과 AI, ML 기술을 도입하여 변화하고 있다. 원자로 모델 개발을 위해 더 많은 민간 기업과 스타트업이 참여하고 있으며, 디지털 트윈, 첨단 제조 기술, AI, ML 등의 기술을 활용하고 있음

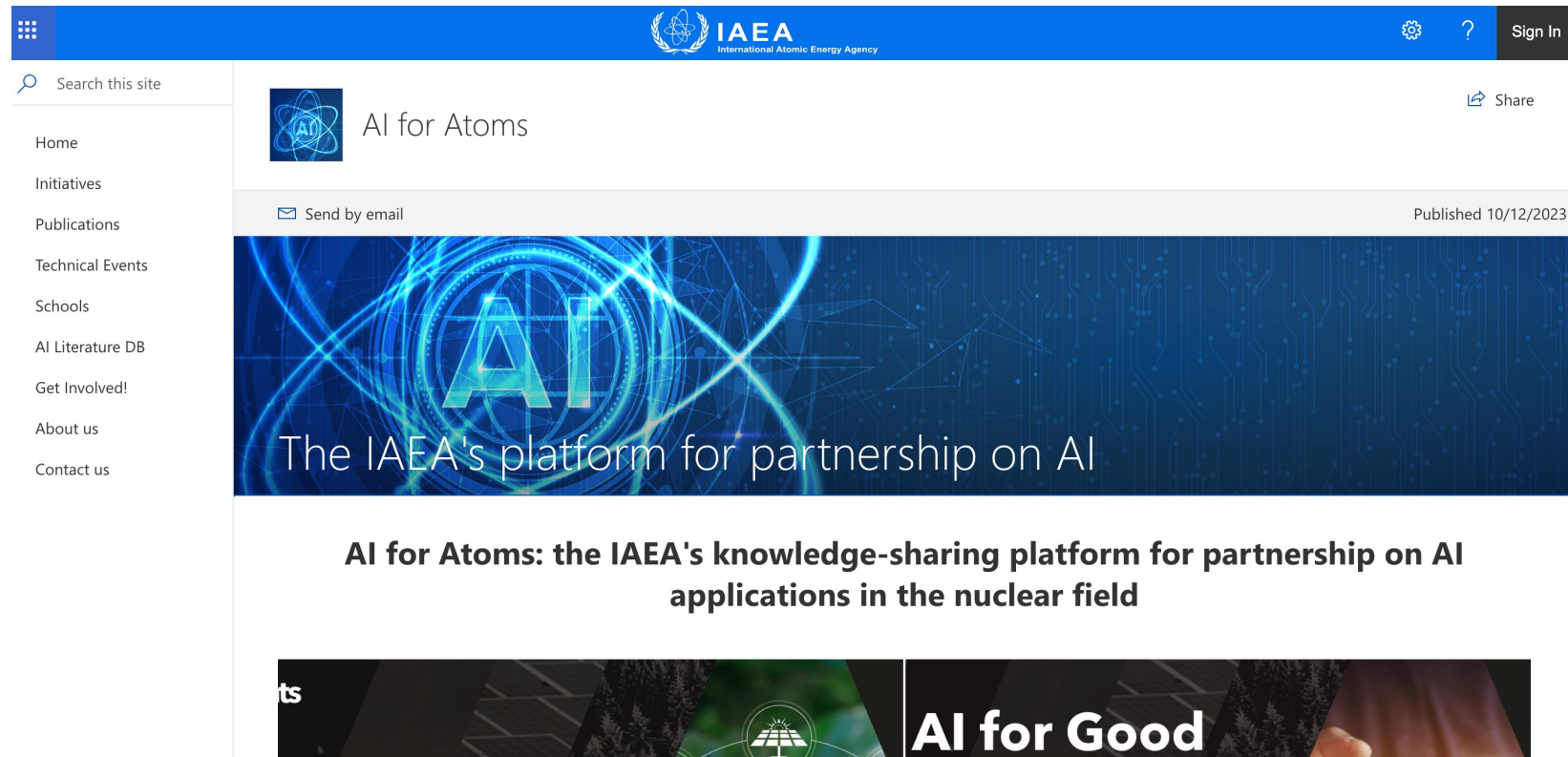


IAEA NUCLEAR TECHNOLOGY REVIEW 2023 (#2)

- AI는 실험 및 운영 중 데이터의 통합을 향상시킬 수 있으며, 계산 과학자와 실험 과학자의 작업 효율성을 높일 수 있습니다. 또한 AI를 이용하여 설계, 제조, 건설 최적화, 운영 효율성, 고장 감지 및 제어 시스템 등을 개선할 수 있음
- AI의 도입은 원자력 산업에 신뢰성, 안전성 및 전반적인 효율성을 제공할 수 있습니다. 따라서 AI는 원자력 산업에서 많은 장점을 가져올 수 있음



IAEA, 'AI FOR ATOMS'



The screenshot shows the homepage of the IAEA's 'AI for Atoms' platform. The top navigation bar is blue with the IAEA logo and text 'IAEA International Atomic Energy Agency'. On the right of the bar are icons for settings, help, and a 'Sign In' button. A search bar on the left says 'Search this site'. A left sidebar contains a list of links: Home, Initiatives, Publications, Technical Events, Schools, AI Literature DB, Get Involved!, About us, and Contact us. The main content area features a large blue banner with a glowing 'AI' logo and the text 'The IAEA's platform for partnership on AI'. Above this banner is a sub-header 'AI for Atoms' with a share icon and a 'Published 10/12/2023' date. Below the banner is a bold title: 'AI for Atoms: the IAEA's knowledge-sharing platform for partnership on AI applications in the nuclear field'. At the bottom, there is a dark banner with the text 'AI for Good' and a small icon of a nuclear reactor.

IAEA International Atomic Energy Agency

Search this site

Home
Initiatives
Publications
Technical Events
Schools
AI Literature DB
Get Involved!
About us
Contact us

AI for Atoms

Share

Send by email

Published 10/12/2023

The IAEA's platform for partnership on AI

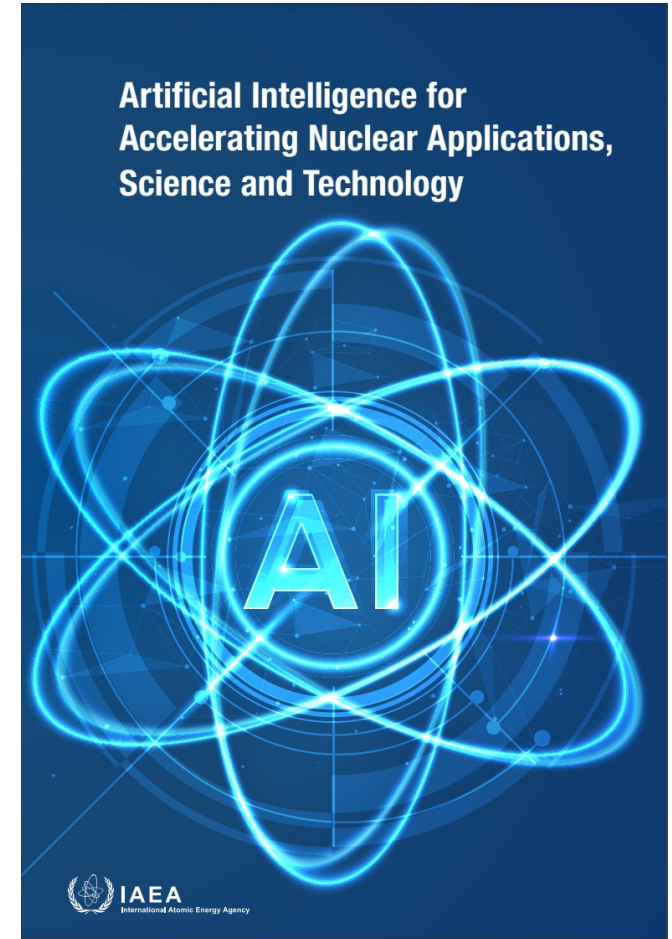
AI for Atoms: the IAEA's knowledge-sharing platform for partnership on AI applications in the nuclear field

AI for Good

[출처] <https://nucleus.iaea.org/sites/ai4atoms/SitePages/Home.aspx>

AI FOR ACCELERATING NUCLEAR APPLICATIONS, SCIENCE AND TECHNOLOGY (2022)

- 원자력 산업은 자동화, 설계 최적화, 데이터 분석, 예측 및 예후 분석, 인사이트 추출 등의 분야에서 AI의 이점을 누리고 있음
- AI를 통한 자동화는 고압 또는 까다로운 상황에서 신뢰성을 높이고 안전 위험을 감소시켜 인적 오류로 인한 일반 작업의 가동 중단 시간을 최소화합니다. 예를 들어 제어봉의 결함에 대한 데이터 분석 자동화, 원자력 발전소(NPP) 프로세스의 이상 감지 등이 있음
- AI 기반 최적화는 원전의 효율성을 높이고 예측 목적의 핵심 제어 방법을 지원하는 등 복잡한 운영 설계를 가능하게 할 수 있음



GEN IV

International Forum

Expertise | Collaboration | Excellence



Member

Search...

ABOUT

ORGANISATION

PARTNERS

TECHNOLOGY

RESOURCES

Artificial Intelligence for Nuclear (Technical session)

Date & Venue: Tuesday October 4 at 10:15-12:00, Room Halton, Delta Hotel, Toronto, Canada.

Objectives

The objective of this session was to discuss how new digital technologies like the Artificial Intelligence can help development of Gen IV reactors. International experts from industry, national labs and regulators were invited to discuss the following topics:

- Understand how best to utilise AI-powered technologies to accelerate and de-risk GIF projects.
- What should be the priority for short- and long-term AI strategies?
- Can smaller subgroups be created to collaborate on different subject matters such as: AI security, AI Ethics, AI for nuclear reactor solutions, AI for asset management, etc?
- Understand current challenges (regulatory acceptance, data sharing) and capabilities.
- Share AI success stories / use cases from private and public sector.
- Identify collaboration opportunities to share data and develop, train and test AI models.

A purple rectangular logo with a yellow border. The text "GEN IV" is at the top, "INT'L" is in the middle, "FORUM" is below that, and "('22.10.)" is at the bottom, all in white capital letters.

11/3/23

[출처] https://www.gen-4.org/gif/jcms/c_207313/artificial-intelligence-for-nuclear-technical-session

Sample Footer Text

30

GEN IV INT'L FORUM ('22.10.)

- AI 기술이 원자력산업에 도움이 될 수 있는 잠재력이 큼. 영국에서만 100개 이상의 조직이 'AI for Nuclear (AI4N)'에 합류함
- AI와 자율제어(Autonomous control)과 AI 기반 의미검색과 지식관리에 도움
- 전반적으로, 제4대 원자로에 대한 연구개발을 가속화하고 위험을 줄이는 데 도움이 될 수 있는 AI 기술을 사용하는 데 큰 잠재력이 있음

Program and Participants

The session was chaired by Prof. Nawal Prinja which had the following six presentations:

"How AI is empowering the future of UK nuclear industry – A Position Paper" – Caroline Chibelushi, KTN, UKRI and AI for nuclear (AI4N) group, Nuclear Institute, UK

"Application of AI within data-centric engineering and autonomous systems" – Nigel Tate, Rolls Royce, UK

"The Challenge of Autonomous Operation and Automated Reasoning as an AI Enabler" – Robert Ponciroli, ANL, USA

"AI-powered Cognitive Search for Information for Nuclear Knowledge Management" – Thomas Devraj, S & P Global (formerly I H S), USA/UK

"Development of the regulation of AI for nuclear applications in UK" – David Smeatham, Principal Nuclear Inspector, Office for Nuclear Regulation, UK

"IAEA's role in the deployment of AI for Nuclear Power" – Aline Des Cloizeaux, IAEA.

Each speaker made a short presentation followed by Q&A session. There was general discussion moderated by the chair, Prof. Nawal Prinja.

[출처] https://www.gen-4.org/gif/jcms/c_207313/artificial-intelligence-for-nuclear-technical-session



마 무 리

MILESTONES OF AI JOURNEY

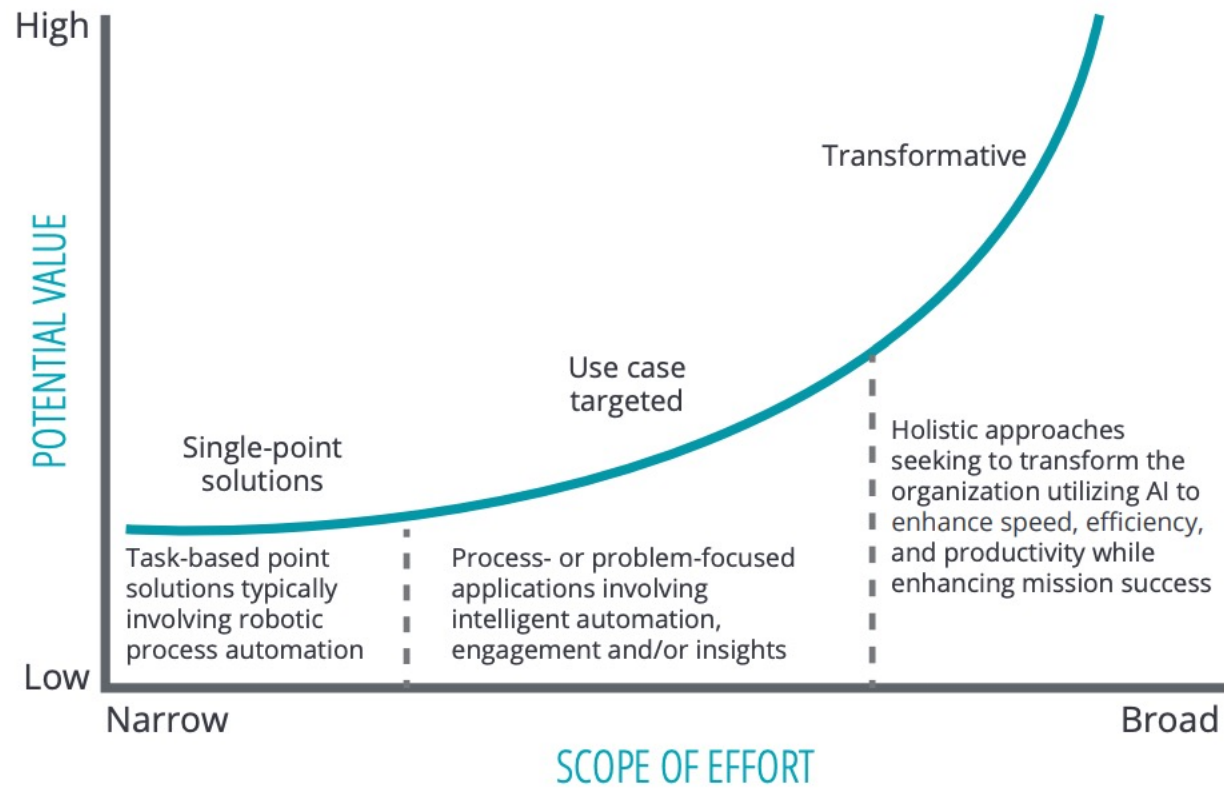
Milestones on the AI journey

Develop	Translate	Implement	Scale	Manage
Understand AI potential, set ambition level, and prioritize applications	Design and validate AI initiatives to confirm costs and benefits and establish governance	Undertake rapid prototyping and testing of the AI applications with the highest value; evaluate overall results	Scale and roll out proven AI solutions, addressing technical and organizational barriers	Manage AI-enabled solutions, updates, and expansion; monitor results, adapting as needed

[출처] Delloite(2020), 'AI Readiness for Government'

FIGURE 2

AI's nonlinear nature means that agencies can start their AI journey from any point on the AI ambition curve



NATIONAL AI R&D STRATEGIC PLAN 2023 UPDATE (미국 백악관)

Strategy 8: Expand Public-Private Partnerships to Accelerate Advances in AI	31
Achieving More from Public-Private Partnership Synergies	31
Expanding Partnerships to More Diverse Stakeholders	32
Improving, Enlarging, and Creating Mechanisms for R&D Partnerships	32
Strategy 9: Establish a Principled and Coordinated Approach to International Collaboration in AI Research	34
Cultivating a Global Culture of Developing and Using Trustworthy AI	34
Supporting Development of Global AI Systems, Standards, and Frameworks	35
Facilitating International Exchange of Ideas and Expertise	36
Encouraging AI Development for Global Benefit	36

[참고자료]

**GUIDANCE FOR AI
APPLICATION**

- ISO/IEC DIS5339

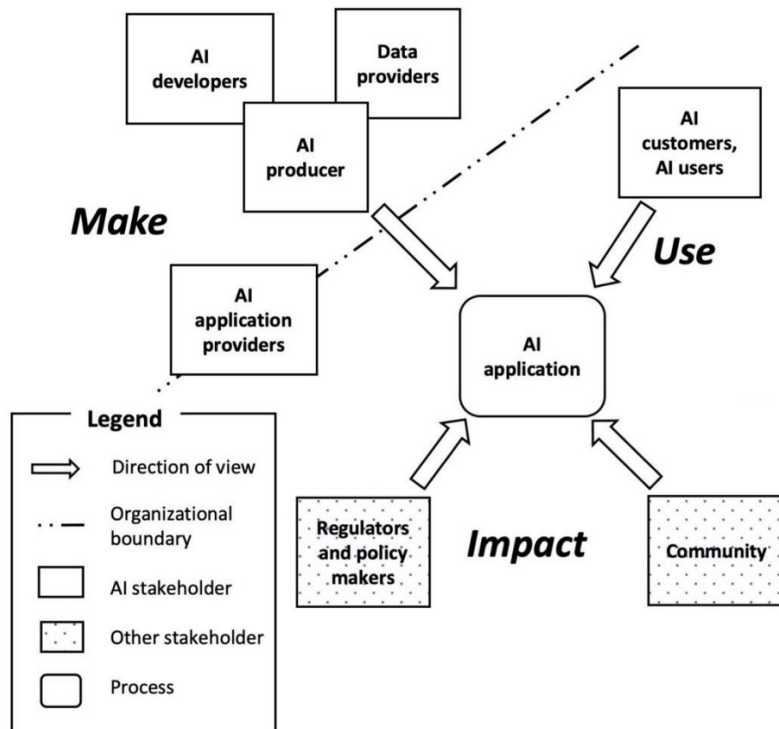


Figure 2 — AI application – stakeholders' perspectives

[출처] ISO/IEC DIS 5339



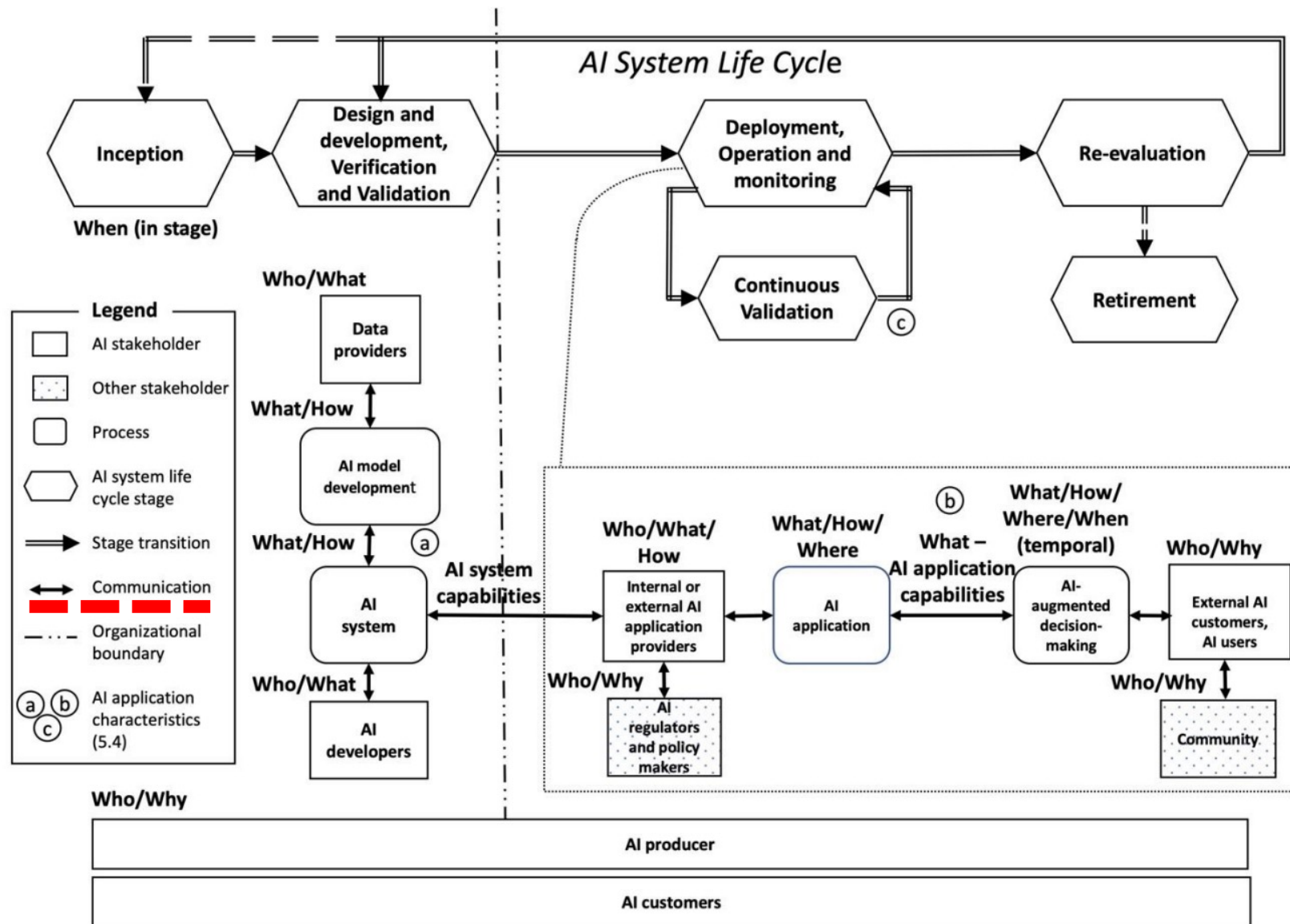


Figure 1 — AI application context