



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2020년 2월
석사학위 논문

레질리언스 기반 원전 비상대응조직
조직신뢰도 인자 도출

조선대학교 대학원
원자력공학과
배태기

레질리언스 기반 원전 비상대응조직 조직신뢰도 인자 도출

Identification of contributing factors to the
reliability of emergency response organization in
nuclear power plants based on the resilience concept

2020년 2월 25일

조선대학교 대학원

원자력공학과

배태기

레질리언스 기반 원전 비상대응조직 조직신뢰도 인자 도출

지도교수 김 종 현

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2020년 10월

조선대학교 대학원

원자력공학과

배태기

배태기의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 정운관 (인)

위 원 조선대학교 교수 이경진 (인)

위 원 조선대학교 교수 김종현 (인)

2020년 11월

조선대학교 대학원

목 차

ABSTRACT	v
제1장 서론	1
제2장 레질리언스 연구사례 문헌조사 및 기여인자 도출	3
제1절 레질리언스 적용 사례 검토 범위	3
제2절 레질리언스 적용 산업검토 결과	6
제3장 국내 원자력발전소 비상대응조직 검토	15
제1절 원자력발전소 방사선 비상	16
제2절 비상대응조직 검토	18
제4장 원자력발전소 비상대응조직 레질리언스 기여인자 도출	23
제1절 Step 1: Resilience Analysis Grid 의 인자 정의에 따라 분류 가능한가?	24
제2절 Stop 2: 원자력발전소 비상대응조직에 적용 가능한 인자인가?	25
제3절 Step 3: 기여인자별 재분류 및 병합	26
제4절 원자력발전소 비상대응 조직의 레질리언스 기여인자 도출결과	31

제5장 기여인자별 좋은사례 및 개선점44

제6장 결론54

참고문헌 56

표 목차

표 1. RAG 네 가지 능력 및 정의	25
표 2. Level 1 Factors에 분류된 Level 2 Factor들과 각 정의	27
표 3. Level 2 Factors 평가를 위한 Items 및 정의	29
표 4. RAG 개념에 적용 불가능한 인자 예시	32
표 5. 원자력발전소 비상대응조직에 적용 불가능한 인자 및 삭제 이유 예시 ...	33
표 6. 병합 및 삭제된 인자 예시	36
표 7. Level 2 기여인자의 정의	40
표 8. Level 3 Items의 정의	41
표 9. 원자력발전소 비상대응조직 신뢰도평가 인자별 좋은사례 및 개선점	45

그림 목차

그림 1. 문헌검토를 위한 워킹시트	5
그림 2. 국내 방사선 비상 체계도	16
그림 3. 비상대응조직 기여인자 도출을 위한 프로세스	23
그림 4. 원자력발전소 비상대응조직 적용가능성 판단을 위한 워킹시트	26
그림 5. 원자력발전소 비상대응조직 레질리언스 기여인자 구조	39

ABSTRACT

Identification of contributing factors to the reliability of emergency response organization in nuclear power plants based on the resilience concept

Tae Ki Bae

Advisor : Prof. Jonghyun Kim, Ph.D.

Department of Nuclear Engineering

Graduate School of Chosun University

Since the Fukushima accident, the international atomic energy agency has highlighted the importance of enhancing organizational resilience to adapt to unexpected situations. Resilience can be defined as the intrinsic ability of a system or an organization to adjust its functioning before, during, or following changes and disturbances so that it can maintain required operations under both expected and unexpected situations.

The concept of resilience has been applied to enhance safety in many fields such as aviation, healthcare, railways, power plant, and social infrastructure. However, very few studies have been conducted for nuclear power plants.

This study aims at identifying contributing factors to the resilience of emergency response organizations in NPPs by a literature survey on the application of resilience to other fields. This study is based on the resilience analysis grid suggested by Erik Hollnagel. In this study, a review is performed for the literatures from many sources to identify which factors are considered as contributing factors to the resilience in other fields. Then,

based on the literature review, the factors for the resilience of emergency response have been derived under the structure of RAG.

제1장 서론

레질리언스는 어떤 변화나 방해가 발생하기 이전(prior), 과정(during), 이후(following)에 적응하는 능력으로, 예측하거나 예측하지 못한 상황 발생 시 요구되는 운전을 유지할 수 있는 능력이다. 이는 본래 재료 또는 기계 분야에서 사용되는 용어로서 고체의 탄성 변형으로부터 원래 상태로 돌아오려는 성질을 의미하기도 한다. 이러한 개념은 2,000년대부터 Erik Hollnagel [1], David Woods [2], Nancy Leveson [3]과 같은 학자들에 의해서 제안되었다. 레질리언스 연구는 현재까지 우주 [4, 5] 및 항공 [6, 7] 분야에서 이미 적용된 사례들이 보고되고 있으며, 원자력 분야의 경우 후쿠시마 원전 사고 이후 그 필요성이 부각되어 현재는 원자력발전소에 적용하기 위한 연구들이 활발히 진행 중이다 [8, 9].

후쿠시마 원전 사고 이후 국제원자력기구 (International Atomic Energy Agency; IAEA)에서 발간된 보고서 [10]에서는 원자력발전소 안전성을 평가하고 관리하는 부분에 있어서 개인적 요소 (Individual Factor), 기술적 요소 (Technical Factor), 조직적 요소 (Organizational Factor)와 같이, 안전에 영향을 주는 여러 요소들을 체계적으로 반영할 필요가 있음을 강조하였다. 이는 원자력발전소 안전성에 대한 관점이 기존 안전성 평가에서 레질리언스로 확대될 필요가 있음을 나타내는 것으로도 볼 수 있다. 레질리언스는 오류를 유발할 수 있는 잠재적 요소들을 이해하고 어떻게 하면 성공적으로 기능을 수행할 수 있는지에 초점을 두어, 안전성을 평가하고 관리하는 측면에서 새로운 패러다임이라 할 수 있다 [1].

레질리언스는 원전 중대사고와 같은 상황을 완화하기 위해 요구되는 사고 대응 조직이 완화 조치를 유연하게 수행할 수 있는지를 평가하는 측면에서 상당한 이점을 가지고 있다. 원전 중대사고 상황에서는 발전소에 설치된 안전설비들이 적절히 동작하지 못할 가능성이 매우 높기 때문에 사람이나 사고 대응 조직의 역할이 매우 중요하다. 그러나, 기존 안전성 평가 방법들은 이러한 요소들을 잠재적인 위험 요소로 간주해왔다. 이와는 반대로, 레질리언스 개념에서는 이들을 시스템의 유연성에 반드시 필요한 요소로 가정하기 때문에, 1) 중대사고 대응 시 운전원 의사결정 능력 및 지원 수단, 2) 사고 대응 훈련 계획, 수행, 평가에서의 인적요소 및 조직인자, 3) 모든 사고 대응 조직 또는 기관 간의 의사소통 및 역

할 분담, 4) 사고 대응 조직의 유연성 등과 같은 측면들을 충분히 고려할 수 있다. 이외에도, 국내 원전에서는 후쿠시마 원전 사고 후속조치를 통해서 원전 안전성을 향상시키기 위한 다양한 개선 업무를 수행해왔으나, 이러한 조치들은 각각 개별적으로 적용되어 왔다. 이와 같은 경우에는 레질리언스 개념을 통해 사고 후속조치, 기존의 대응 시스템, 그리고 대응 조직을 서로 유기적으로 연결시켜 원전 중대사고에 유연하게 대응할 수 있는지 통합적인 관점에서 평가할 수 있다는 이점이 있기도 하다.

본 논문에서는 문헌조사를 통해 지금까지 수행된 레질리언스 관련 연구사례를 조사하고, 이를 통해 원자력발전소 비상대응조직의 신뢰도에 영향을 미칠 수 있는 레질리언스 인자를 도출해 내는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 첫째로 인터넷 검색을 통해 찾아낸 원자력을 포함한 다양한 분야의 레질리언스 연구사례를 검토하여, 레질리언스 평가를 위해 적용한 인자를 도출하였다. 둘째로 국내 원자력발전소 비상대응조직의 특성을 확인하기 위해 관련 법령, 사업자 이행 상황 등에 조사를 수행하였다. 셋째로 앞서 도출한 이전 연구사례에서 고려한 인자들과 국내 원자력발전소 비상대응조직의 특성을 고려하여 원자력발전소 비상대응조직 레질리언스에 영향을 주는 인자를 도출하였다. 이를 위해 체계적인 스크리닝을 위한 절차를 제안하고 도출된 인자들에 대한 정의를 수행하였다. 최종적으로 본 연구에서는 원자력발전소 비상대응조직의 신뢰도를 평가하기 위한 평가인자를 제안하였다.

제2장 레질리언스 연구사례 문헌조사 및 기여인자 도출

제 2장에서는 기존에 수행되었던 다양한 산업분야에 대한 레질리언스 연구사례 조사와 이들 연구에서 적용된 레질리언스 기여인자들을 도출한 결과 기술한다.

제1절 레질리언스 적용 사례 검토 범위

본 연구에서는 Google 및 Google Scholar에서 Resilience, Resilience Analysis Grid (RAG), High Reliability Organization (HRO), Organizational Resilience, Resilience Contributing Factors, Resilience Evaluation 키워드를 가지고 문헌검색을 수행하였다. 그 다음 영어 또는 한국어로 작성된 문헌, 기여인자를 포함하고 있는 문헌, 조직의 레질리언스 관련 문헌, 조직신뢰도 관련 문헌을 추려서 최종적으로 47개의 문헌을 도출하였으며, 적용 분야에 따라 다음과 같이 6개의 분야로 구분하였다.

- 일반(General) 분야: 일반적인 방법론에 관한 연구 및 다양한 분야에 적용 가능한 연구
- 프로세스 플랜트(Process Plant) 분야: 원자력발전소, 화학공장, 산업분야에 적용한 연구
- 의학(Medical and Healthcare) 분야: 병원, 응급실, 건강 관리에 적용한 연구
- 운송(Transportation) 분야: 항공, 우주, 교통수단에 적용한 연구
- 인프라(Infrastructure) 분야: 건설, 재난, 사회기반 시스템에 적용된 연구
- 기타(Others) 분야: 위에 정의된 분야에 적용이 불가능하거나, 검토된 문헌이 많지 않아, 특정한 분야로 분류하지 않은 문헌

적절한 문헌검토 수행을 위해 본연구에서는 그림 1과 같은 워킹 시트를 제안하

였다. 워킹 시트는 문헌의 제목, 적용 분야, 목적, 기여인자, 평가 및 모델링 방법, 문헌검토를 통해 얻은 주요 정보, 저자, 문헌의 종류로 구성되어 있다.

Modeling Safety-II based on unexpected reactor trips										
No	Application Area	Purpose	Top-Factor	Level-1 Factors	Level-2 Factors	Method	Description	Author	Publication	type
1	Nuclear Power Plant	To model Safety-II for the situation of unexpected reactor trips in NPPs	Safety-II	<p>Anticipation : Characterizes the measures that are in place before an initiating event occurs and is therefore, a measure of the EOS's preparedness before an event.</p> <p>Robustness : Characterizes the way in which the EOS executes the chosen response strategy and ensures that the strategy is correctly applied</p> <p>Adaptation : Characterizes the way in which the EOS develops the strategy to cope with (adapt to) an initiating event or a change in the plant status that requires a change in the crew's response strategy (Hollnagel et al., 2008). The ability to detect deviations from the expected or unexpected paths and to readjust the operations accordingly (Salas et al., 2005)</p> <p>Collective Functioning : The measure of how plant personnel work as a team to complete a task or achieve a common goal</p> <p>Organizational Learning : Refers to the process in which the organization creates new knowledge or modifies existing knowledge</p>	<p>Training : Refers to the knowledge and experience imparted to the personnel by the organization</p> <p>Procedures : Provide descriptions of the tasks that should be performed and the rules that should be followed to address specific conditions in NPPs</p> <p>Organization Culture : Is related to the attitudes, values, and beliefs of an organization that supports its goals and mission</p> <p>Human Resource : Refer to the way that the organization hires and assign tasks to personnel</p> <p>Human-System Interface : Include alarm systems, indicators, controllers, operator support systems, and ergonomics</p> <p>Execution : The measure of whether the personnel performs the intended actions correctly</p> <p>Decision-making : Refers to how the personnel acquires information about the event and decide upon the appropriate action</p> <p>System Response : The measure of whether a system carries out functions as intended</p> <p>Verification : Refers to the ability of personnel to verify if the current strategies, rules, or procedures are inappropriate based on the circumstances</p> <p>Reconfiguration : Describes the ability of the personnel to change the strategy or rules based on the dynamics of the event</p> <p>Teamwork : How the operators interact with each other to exchange information, coordinate actions, and maintain social order</p> <p>Communication : Refers to how the crew communicates within the shift (including with the field operators) or between shifts</p> <p>Organizational Learning</p>	Correlation analysis	<ul style="list-style-type: none"> ● EDF (Electricité de France)가 개발한 MRS (Model of Resilience in Situation)를 기반으로 factor를 가져옴 ● MRS의 Level은 3 phase이다. (Top-Factor, Factors, Item) ● Qualitative Safety-II model은 x축, y축 각각 13개의 item들을 놓고 어떤 item이 또 다른 어떤 item에 영향을 미치는지(문헌 조사를 통해 알아냄) 화살표의 방향 으로 나타내었고, 그것들 그림(논문 Fig.3.)으로 표현하여 modeling 하였음 ● 개발한 Qualitative Safety-II model 과 the procedures for event severity evaluation를 correlation analysis 를 통해 Quantified network for the Safety-II model을 개발하였음 ● 2003-2017 에 일어난 OPIS 로부터 222개의 report가 이 논문에서 review 되었 음 ● Result : Suggests a new path for the safety assessment of unexpected reactor trips in NPPs which could complement the conventional probabilistic safety assessments and deterministic safety analyses 	Jooyoung Park, Ji-tae Kim, Sunghoon Lee, and Jonghyun Kim	Annals of Nuclear Energy (ANE) 115 (2018) 280-293	Journal

그림 1. 문헌검토를 위한 워킹시트

제2절 레질리언스 적용 산업검토 결과

본 연구에서는 타 산업에서 레질리언스 적용 사례를 기반으로 평가인자를 도출하고자 앞서 언급된 바와 같이 총 47개의 문헌검토를 수행하였다. 문헌검토 결과로 910개의 단순 기여인자를 식별하였다. 각 문헌검토 결과는 아래의 세부 단계와 같다.

1. 일반 분야

일반 분야에서는 총 8개의 사례가 검토되었으며, 해당 분야에서는 총 235개의 단순 기여인자들이 도출되었다. 이에 대한 세부 내용은 다음과 같다.

- HoInagel [11, 12]은 레질리언스 수행능력을 위한 레질리언스 공학이 제시하는 네 가지의 능력(Respond, Monitor, Anticipate, Learn)을 제안하였다. 해당연구에서는 Event List, Background, Response List, Revision을 포함하여 총 38개의 레질리언스 평가인자를 제안하였다.
- Salisu et al. [13]은 레질리언스 평가에 사용되는 네 가지의 방법 (Resilience Scale for Adults, Connor-Davidson Resilience Scale, Connor-Davidson Resilience Scale 10, Brief Resilience Scale)을 검토하고, Self-esteem, Determination, Good Communication Skill, Flexibility를 포함하여 총 70개의 레질리언스 기여인자를 제안하였다.
- Pillay [14]는 안전관리 전략으로서의 레질리언스 공학의 미래 연구를 위한 프레임워크를 개발함. 해당 연구에서는 Top-level Commitment, Awareness, Learning Culture, Just Culture, Flexibility, Preparedness와 같은 6가지의 레질리언스 기여인자를 제안하였다.
- Lee et al. [15]은 조직이 자신들의 강점과 약점을 알 수 있게 하고, 조직의 레질리언스 전략과 투자의 효율성을 개발하고 평가할 수 있는 설문을 개발하였다. 해당 연구에서는 Role and Responsibility, Connectivity

Awareness, Planning Strategy를 포함하여 총 42개의 기여인자를 제안하였다.

- Amir et al. [16]은 성장 기반 구성 및 측정에 대한 검토를 통해 조직 레질리언스의 이해 및 레질리언스 강화 연구를 수행하였다. 해당 연구에서는 Perseverance, Commitment to Growth, Positive Emotion, Meaning Making과 같은 네 가지의 기여인자를 제안하였다.
- McManus et al. [17]은 뉴질랜드 정부에 핵심이 되는 레질리언스 기여인자들을 파악하고, 제시된 기여인자들을 강화할 수 있는 방안을 제시하였다. 해당 연구에서는 Communication and Relationship, Management, Risk Management, Training을 포함하여 레질리언스 강화를 위한 총 30개의 기여인자를 제안하였다.
- Mendonca et al. [18]은 2011년 발생한 뉴욕 전력 손실 사고를 기반으로, 경험기반의 비평가 기존 기여인자에서 추가되어야 할 기여인자를 제안하였다. 해당 연구에서는 Flexibility, Quality of the Response, Margin of the System을 포함하여 총 24개의 기여인자를 제안하였다.
- Salanova et al. [19]은 Health & Resilient Organization (HERO)라는 모델에 대한 개념화 및 평가를 수행했다. 해당 연구에서는 Organizational Resources, A Positive Audit, Forgive를 포함하여 총 21개의 기여인자를 제안하였다.

2. 프로세스 플랜트 분야

프로세스 플랜트 분야에서는 총 10개의 사례가 검토되었으며, 해당 분야에서는 총 261개의 단순 기여인자들이 도출되었다. 이에 대한 세부 내용은 다음과 같다.

- HolInagel et al. [20]은 후쿠시마 원자력발전소 사고를 예시로 원자력발전소에 미리 구비된 안전시스템이 제대로 작동한 상황과 이와 반대로 적절히 작동하지 않은 상황에서 레질리언스 공학이 얼마나 산업 안전 이해를 대체할 수 있는지를 증명하기 위한 연구를 수행하였다. 해당 연구에서는

Responding, Monitoring, Learning, Anticipating을 레질리언스 공학 기여 인자로 제안하였다.

- Park et al. [8]은 Electricite de France가 개발한 Model of Resilience in Situation (MRS)[MRS Ref.]을 기반으로 원자력발전소의 예상하지 못한 원자로 정지 상황에서 안전에 필요한 Safety-II 모델을 개발하였다. 해당 연구에서는 Teamwork, Human-system Interface, Procedure를 포함하여 총 18가지의 레질리언스 기여인자를 제안하였다.
- Kim et al. [9]은 예상하지 못한 상황에서의 정량적 레질리언스 평가 모델을 개발하였다. 해당 연구에서는 Training, Adaption, Collective Functioning을 포함하여 총 17가지의 레질리언스 기여인자를 제안하였다.
- Kamanja et al. [21]은 다양한 레질리언스 속성의 이해를 얻기 위해 원자력 발전소 Emergency Operation System (EOS)에 레질리언스를 특징 짓는 연구를 수행했다. 해당 연구에서는 Prescription, Human Resource, Human Machine Interface, Training을 포함하여 총 20가지의 레질리언스 기여인자를 제안하였다.
- Gauthereau et al. [22]은 스웨덴 원자력발전소 내 사고가 발생하였을 경우, 조직 내 비상 대응계획에 대한 대체적인 관점을 파악하고 이를 제안하는 연구를 수행했다. 해당 연구에서는 Tracking, Regulation, Monitoring, Targeting을 레질리언스 기여인자로 제안하였다.
- Shirali et al. [23]은 아홉 가지의 레질리언스 지표를 기반으로 레질리언스 공학을 정량적으로 평가하는 연구를 수행함. 해당 연구에서는 Buffering Capacity, Margin, Tolerance를 포함하여 총 9개의 레질리언스 기여인자를 제안하였다.
- Azadeh et al. [24]은 수행도 평가와 레질리언스 수준 간의 관계에 대한 새로운 이해를 제공하여, 과학적 플랫폼을 강화하고 석유화학 공장에서 사람의 자원과 안전 자원의 수행도를 확인하는 연구를 수행했다. 해당 연구에서는 Management Commitment, Responding Culture, Learning, Awareness를 포함하여 총 10가지의 레질리언스 기여인자를 제안함.
- Morales et al. [25]은 조직이 특정 직무를 수행할 때, 조직적 레질리언스

에 기여하는 요소들을 식별하고, 기존의 레질리언스 공학과의 차별성을 제시했다. 해당 연구에서는 Resilient Leadership, Resilient Organizational Culture, Adaptation Capacity를 포함하여 총 23 가지의 레질리언스 기여인자를 제안하였다.

- Gomes et al. [26]은 시뮬레이션을 기반으로 하여, 실제 재난 상황에서의 시스템의 레질리언스 영향력을 판단할 수 있도록 하는 연구를 수행하였다. 해당 연구에서는 Whispers, Explaining Situation, People Arrival을 포함하여 총 16개의 레질리언스 기여인자를 제안하였다.
- Kantor et al. [27]는 원자력발전소 사고를 대비하여 위기 대처 관련 보고서를 발간하였다. 해당 보고서에는 발전소, 주(State), 지역(Local), 그리고 소수민족(Tribal) 정부에 총 16개 분야에 대해 행동 지침을 제시했다. 해당 연구에서는 Specified Operational Role, Emergency Plan, Emergency Response를 포함하여 총 140개의 기여인자를 제안하였다.

3. 의학 분야

의학 분야에서는 총 4개의 사례가 검토되었으며, 해당 분야에서는 총 55개의 단순 기여인자들이 도출되었다. 이에 대한 세부 내용은 다음과 같다.

- Santomauro et al. [28]은 건강 관리 분야에서 증상학과 조직적 대응 모두에 대한 이차 피해자(Second Victim) 상태를 검토하는 연구를 수행했다. 해당 연구에서는 Shame, Self-blame, Loss of Sleep, Self-doubt와 같은 네 가지 레질리언스 기여인자를 제안하였다.
- Iflaifel et al. [29]은 건강 관리 연구에서 Resilient Health Care (RHC)의 개념화, RHC 연구를 위한 방법식별 및 분석을 통하여 RHC를 개발하고 강화할 수 있는 요소를 식별하고 분석하는 목적으로 연구를 수행했다. 해당 연구에서는 Teamwork, In-situation Practical Experience, Trade-offs를 포함하여 총 7가지의 레질리언스 기여인자를 제안하였다.
- Barasa et al. [30]은 레질리언스를 건강 관리 분야에 적용하기 위한 체계

적인 논문검토를 수행하였다. 해당 연구에서는 Preparedness and Planning, Information Management, Collateral Pathways and Redundancy를 포함하여 총 8가지의 레질리언스 기여인자를 제안하였다.

- Chuang et al. [31]은 Erik Hollnagel이 제안한 Resilience Analysis Grid(RAG)의 네 가지 능력을 기반으로 응급실의 수행도 향상을 위한 인자를 확인하는 연구를 수행했다. 해당 연구에서는 Event List, Background, Relevance를 포함하여 총 36가지의 레질리언스 기여인자를 사용했다.

4. 운송 분야

운송 분야에서는 총 8개의 사례가 검토되었으며, 해당 분야에서는 총 79개의 단순 기여인자들이 도출되었다. 이에 대한 세부 내용은 다음과 같다.

- Burch et al. [32]은 특정 위협 시나리오에서 시스템이 기능을 유지할 수 있게 해주는 레질리언스의 평가 척도를 제안하였다. 해당 연구에서는 Countermeasures, Deterrence, Mobility, Covertness를 포함하여 총 21가지의 레질리언스 기여인자를 제안하였다.
- Owen et al. [33]은 항공과 해양의 세계적 운송 수단에서 레질리언스가 노련하고 항상 준비되어있는 상태가 되기 위한 핵심 방법과 그에 관한 결과를 제안하였다. 해당 연구에서는 Anticipate, Monitor, Respond, Learn을 레질리언스 기여인자로 사용했다.
- Patriarca et al. [34]은 Safety-I과 Safety-II의 원리를 결합하기 위한 RAG-SAT(Resilience Analysis Grid - State Assessment Tool)를 개발하기 위한 연구를 수행했다. 해당 연구에서는 Normal System and Environmental Variability, Routine Abnormal Situation, Unusual Abnormal Situation을 포함하여 총 15가지의 레질리언스 기여인자를 제안하였다.
- Woltjer et al. [35]은 레질리언스와 민첩성(Agility) 모두를 성공적으로 실제 모델에 적용하기 위한 연구를 수행했다. 해당 연구에서는 Responsiveness, Versatility, Flexibility를 포함하여 총 14가지의 레질리

언스 기여인자를 제안하였다.

- Heese et al. [36]은 항공산업에서 그룹이 수행하는 매일의 행동을 관찰하고 평가하는 I-BORA(Inventory of Behavior towards Organizational Resilience in Aviation)를 개발하고 유효성 입증을 위한 연구를 수행하였다. 해당 연구에서는 Goal Trade-offs, Coordination, Timing, Pacing을 포함하여 총 13가지의 레질리언스 기여인자를 제안하였다.
- Azadeh et al. [37]은 철도 운송시스템 또는 철도 교통시스템의 레질리언스 성능을 평가를 수행하였다. 해당 연구에서는 Teamwork, Redundancy, Self-organization을 레질리언스 기여인자로 사용했다.
- Omer et al. [38]은 ITS (Intelligent Transportation System)의 레질리언스를 측정하는 측정기준을 제시하는 연구를 수행하였다. 해당 연구에서는 Leadership, Awareness, Flexibility, Preparedness/Emergency Planning, Culture를 레질리언스 기여인자로 제안하였다.
- Saurin et al. [39]은 사회 기술 시스템 내에서 적용될 수 있는 특정 시스템의 식별과정부터 특정한 분석 단위까지 제한시키지 않고 레질리언스 취약점의 분석 소스를 나타내는 프레임워크를 소개하는 연구를 수행했다. 해당 연구에서는 Top Management Commitment, Learn from both Incident and Normal Work, Increase Flexibility, Awareness를 기여인자로 제안하였다.

5. 인프라 분야

인프라 분야에서는 총 12개의 사례가 검토되었으며, 해당 분야에서는 총 231개의 단순 기여인자들이 도출되었다. 이에 대한 세부 내용은 다음과 같다.

- Rehak et al. [40, 41]은 CIERA (Critical Infrastructure Elements Resilience Assessment) 방법론을 검증하기 위한 연구를 수행하였다. 또한, 중요 인프라 시스템에서 강점과 조직적 레질리언스를 측정할 수 있는 방법에 대한 연구도 진행했다. 해당 연구에서는 Planning, Incident Reporting, Sorting Problem을 포함하여 총 80가지의 레질리언스 기여인자를 제안하였

다.

- Francis et al. [42]은 Infrastructure System Engineer에게 지침을 제공하기 위한 목적으로 Risk Analysis와 Resilience Analysis 비교에 대한 논문을 검토했다. 해당 연구에서는 Absorptive, Adaptive, Recovery/Restorative를 기여인자로 제안하였다.
- Renschler et al. [43]은 다양한 규모에서 조직을 위한 재난 레질리언스를 분명히 밝히고 측정을 위한 총체적인 PEOPLES (Population and Demographics, Environmental/Ecosystem, Organized Government Services, Physical Infrastructure, Lifestyle and Community Competence, Economic Development, and Social-cultural Capital) Resilience Framework를 개발했다. 해당 연구에서는 Facilities, Education Services, Air Quality를 포함하여 총 24가지의 레질리언스 기여인자를 제안하였다.
- Patriarca et al. [44]은 Erik Hollnagel이 제안한 RAG의 네 가지 능력에 기반한 설문지 제작 후, 레질리언스를 측정하기 위한 접근법 제안 연구를 수행했다. 해당 연구에서는 International Guidelines, Teamwork, Roles Division, Research Activity를 포함하여 총 33개의 레질리언스 기여인자를 제안하였다.
- Riolli et al. [45]은 Information System Settings에서 조직의 스트레스를 줄이기 위한 연구를 수행하였다. 해당 연구에서는 Communication, Coordination, Consideration을 포함하여 총 8가지의 레질리언스 기여인자를 제안하였다.
- Saurin et al. [46]은 건설환경에서 레질리언스 인지시스템공학 적용 가능성을 토의하고, 인지시스템공학 관점에서 안전관리의 최선의 관례를 분석하는 연구를 수행하였다. 해당 연구에서는 Increase Flexibility, Learning, Awareness를 레질리언스 기여인자로 제안하였다.
- Rodriguez et al. [47]은 Erik Hollnagel이 제안한 RAG의 네 가지 능력을 적용하여 Water Sector를 분석한 방법의 유용성을 평가하고 각 Water Sector에서의 조직적 레질리언스를 평가하는 시스템적 접근법을 제안하였다. 해당 연구에서는 Indicator List, Aetiology, Time Horizon, Learning

Basis를 포함하여 총 20개의 기여인자를 제안하였다.

- Sungho Hong [48]은 국가재난관리 전담조직의 필요성과 조직 효과성을 높이기 위한 레질리언스 역량과 제도의 개선 방안을 연구하였다. 해당 연구에서는 전문지식, 선행평가 타당성, 신속성, 종료기준을 포함하여 총 27개 기여인자를 제안하였다.
- Kwangwu Cho [49]는 해수면 상승 및 기후변화에 의한 우리나라 해안에 영향 및 취약성 평가를 커뮤니티 계획과 적응수단 차원에서 분석하였으며 이에 따른 정책 방향을 제시하였다. 해당 연구에서는 재난 예보, 재난 경보, 지원 체계, 규제를 포함하여 총 17개 기여인자를 도출하였다.
- Sung Cho [50]는 재난관리 담당 공무원의 재난 대비 활동이 재난관리 효과에 미치는 영향을 분석하였다. 해당 연구에서는 협조 체계, 훈련, 사회적 자본, 장비(자원) 동원을 포함하여 총 11개의 기여인자를 도출하였다.
- Stewart et al. [51]은 국가 재난 관련 레질리언스를 커뮤니티 단계에서 분석하였다. 해당 연구에서는 Information Linkage, Legal Bonds, Cooperative Norms, Operational Linkage, Relationship Specific Adaptation by the Buyer or Seller와 같은 기여인자를 제안하였다.

6. 기타 분야

기타 분야에서는 총 4개의 사례가 검토되었으며, 해당 분야에서는 총 49개의 단순 기여인자들이 도출되었다. 이에 대한 세부 내용은 다음과 같다.

- Gonzalo et al. [52]은 최적의 레질리언스 상태와 최근 조직적 레질리언스 수준을 파악하여, 레질리언스 공학 개념을 군사 재난 대응에서 평가할 수 있는 방법을 제안하였다. 해당 연구에서는 Management Commitment, Reporting, Learning, Flexibility를 포함하여 총 11개의 레질리언스 기여인자를 제안하였다.
- Johns et al. [53]은 조직의 전반적 신뢰성에 영향을 주는 구체적인 레질리언스 기여인자들을 검토하였다. 해당 연구에서는 Psychological Safety,

Leadership, Identification을 포함하여 총 7개의 레질리언스 기여인자를 제안하였다.

- Woods [54]는 레질리언스 공학을 전반적으로 소개하는 문헌을 제안하였다. 해당 연구에서는 Margin, Tolerance, Downward, Buffering Capacity, Flexibility/Stiffness, Upward를 레질리언스 기여인자로 제안하였다.
- Wicker et al. [55]은 자연재해의 여파에서 일반적인 스포츠 클럽의 조직적 레질리언스를 조사하는 연구를 수행했다. 해당 연구에서는 Robustness, Cope with Challenges, Achieve Goals in a Timely Manner를 포함하여 총 25개의 기여인자를 제안하였다.

제3장 국내 원자력발전소 비상대응조직 검토

제 3장에서는 국내 원자력발전소의 비상대응조직 검토 결과를 나타내고 있다. 한국 원자력 법에서는 원자력발전소에서 평시나 방사선 비상 종류(백색, 청색, 적색)에 따라 각기 다른 조직을 구성하도록 명시하고 있다. 이에 대한 내용은 1절에서 다루고 있다.

국내 원자력발전소 비상대응조직 특성 검토를 위해 원자력시설 방호 등에 대한 법률과 이에 대한 시행령, 시행규칙 검토를 수행하였다 [56]. 하지만, 법에서는 비상대응조직의 역할, 특성 등이 명확하고 세세하게 제공되어 있지 않다. 따라서 비상대응조직의 특성 및 역할을 적절히 제시하기에 어려움이 있었다. 이를 보완하는 목적으로 이에 대한 구체적인 내용은 원자력안전위원회에서 제안하고 있는 방사선 위기관리 매뉴얼 [57] 검토를 수행하여 세부적인 비상대응조직의 특성 및 역할을 도출하였다.

아래의 그림 2는 국내 원자력발전소의 방사선 비상체계도를 나타내고 있다 [57]. 이 체계도는 국가, 사업자, 지방자치 기관을 포함하고 있지만, 본 논문에서는 실제 원자력발전소의 모든 기기 조작 및 의사결정을 수행하는 사업자에 중점을 두어 검토를 수행하였다. 이에 대한 세부내용은 2절에서 다루고 있다.

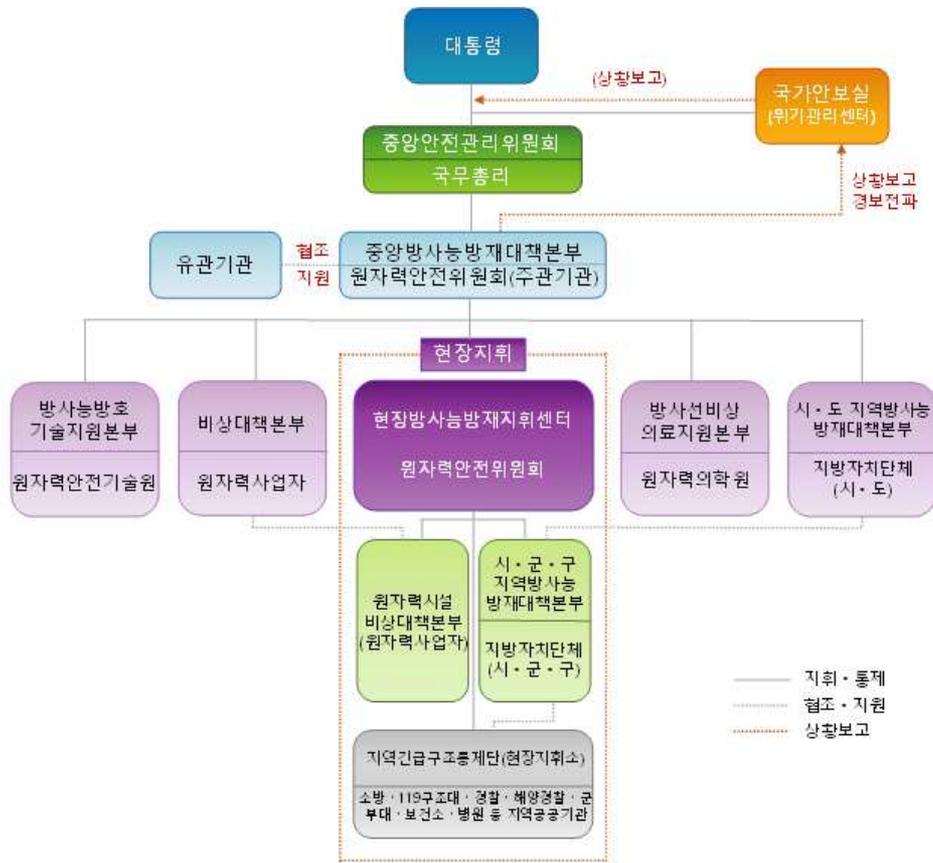


그림 2. 국내 방사선 비상 체계도 [57]

제1절 원자력발전소 방사선 비상

원자력발전소의 방사선 비상이란 원자력발전소에서 발생할 수 있는 여러 가지 사고 또는 고장 중 방사성 물질 또는 방사선이 누출되거나 누출될 우려가 있어, 긴급한 대응조치가 필요한 상황을 의미한다. 국내에서는 방사선 비상이 발생하면 해당 시설 운영자(즉, 사업자)가 사고 발생 15분 이내에 사고상황의 심각 정도에 따라 백색, 청색, 적색 비상의 3단계로 구분하여 방사선 비상을 발령한다.

1. 평시

평시는 원자력발전소에서 방사성 물질이 외부로 누출되지 않거나 누출 우려가 없는 상황을 의미한다. 다시 말해, 이는 100% 출력 운전중 또는 계획예방정비를 포함하여 발전소 출력이 0%인 상황, 즉 안정한 상태를 의미한다.

2. 백색 비상

백색비상은 방사성 물질의 밀봉 상태의 손상 또는 원자력 시설의 안전 상태 유지를 위한 전원공급기능에 손상이 발생하거나 발생할 우려가 있는 등의 사고로서 방사성 물질의 누출로 인한 방사선 영향이 원자력 시설의 건물(격납건물) 내에 국한될 것으로 예상되는 상황을 의미한다.

3. 청색 비상

청색비상은 백색비상 등에서 안전한 상태로의 복구기능 저하로 원자력 시설의 주요 안전기능에 손상이 발생하거나, 또는 발생할 우려가 있는 등의 사고를 의미하며, 또한, 방사성 물질의 누출로 인한 방사선 영향이 원자력 시설 부지 내에 국한될 것으로 예상되는 상황을 의미한다.

4. 적색 비상

적색비상은 원자로 노심의 손상 또는 용융 등으로 원자력 시설의 최후 방벽인 격납건물에 손상이 발생하거나 또는 발생할 우려가 있는 사고로서 방사성 물질의 누출로 인한 방사선 영향이 원자력 시설 부지 밖으로 미칠 것으로 예상되는 상황을 의미한다.

제2절 비상대응조직 검토

방사능 방재법에는 원자력 사업자는 방사능재난에 대비하여 업무를 전담하기 위한 인원과 조직을 확보해야 할 의무를 가져야한다 라고 명시되어있다. 그에 따라 국내 원자력 사업자는 초기 비상대응조직에서 방사선 비상을 발령하고, 정규 비상대응조직 발족 전까지 사고확대 방지와 긴급대응조치를 수행 하기 위한 조직 및 인원을 확보하고 있다. 원자력발전소에서 백색비상이 발령되면 비상기술지원실(Technical Support Center; TSC), 비상운영지원실(Operating Support Center; OSC)이 발족된다. 백색비상을 완화하지 못하여 청색비상 이상이 발령 되면 비상대책실(Emergency Operation Facility; EOF)이 발족되어 사고확대 방지, 사고복구 및 제염활동, 원인조사와 여러 비상대응 활동을 수행하게 되며, 초기 비상대응조직은 정규 비상대응조직이 발족되면 정규 비상대응조직에 흡수된다. 해당 내용은 아래와 같다.

1. 초기 비상대응 조직

초기 비상대응조직은 초기 비상발령과 초기 사고 확대방지를 위한 제반 조치, 긴급조치 등을 하며 정규 비상대응조직 발족 전까지 운영되고 정규 비상대응 조직이 발족 되면 정규 비상대응조직에 흡수된다. 당직 발전팀장은 주제어실, 주제어실 요원 현장사무실, 보건물리실, 화학실험실, 소방대, 정비 협력업체 대기자 사무실 등에서 근무 중인 교대근무 인원을 “초기 비상대응조직”으로 전환하여 발족한다.

초기 비상대응조직에는 주제어실을 중심으로, 1) 비상운전반, 2) 소화구호조, 3) 방사선대책조, 4) 긴급정비조 5) 행정지원조가 편성된다.

가. 주제어실

주제어실은 모든 상황(평시 ~ 방사선비상)에서 원자력발전소 운전 상태를 감시

및 제어하며, 사고 발생 시 사고를 완화시키기 위해 비상조치를 취하는 원자력발전소의 가장 중요한 설비이다. 주제어실은 방사선 비상 발생 시, 비상기술지원실 발족 전까지 비상대책실 기능을 수행하게 되며, 방사선 비상의 종류 및 분류, 발전소내외 기관 초기통보 및 주민대피방송, 비정상 상태 진단 및 경감, 사고수습, 원자력발전소 비상운전 관리, 원자력발전소 비상대응관리 등을 수행한다.

나. 비상운전반

비상운전반은 비상운전반장(발전부장), 반원(발전부원 전원)으로 구성된다. 발전부장의 역할은 초기 방사선 비상발령, 초기 비상대응조직 총괄지휘 및 정규 비상대응조직 발족 전까지 비상대책본부장의 임무를 대행하여 사고확대방지를 위한 제반조치이다. 발전팀 안전차장의 역할은 방사선 비상 발령기준검토, 방사선 비상통보 및 비상요원 소집, 방사선 비상상황에 따른 방사선 비상발령 방송, 방사선 비상 발령상황 구두 보고, 긴급 시 주민 비상경보 및 안내방송(원전 2km 이내 지역)등의 임무를 수행한다. 주제어실 운전원 및 현장운전원은 비상운전반장의 지시사항을 이행하는 역할을 한다.

다. 소화구조조

소화구조조는 소화구조조장(소방대 교대근무자), 조원(청원경찰 5분대기조)으로 구성된다. 소화구조조의 역할은 부상자 응급처치 및 후송 안내, 소내 화재 발생 시 화재진압, 미대피자 및 부상자 구조이다.

라. 방사선대책조

방사선대책조는 방사선대책조장(보건물리실 교대근무자), 조원(화학실험실 교대근무자)으로 구성되어 있다. 방사선대책조의 역할은 방사선관리구역 내 대피작업자 인원점검, 사고지역 출입관리 및 작업자 방사선 안전관리, 소내외 방사선준위 측정 및 수질분석을 수행하며, 필요한 경우 소화구조조를 지원한다.

마. 긴급정비조

긴급정비조는 정비협력사 대기자로 구성된다. 긴급정비조의 역할은 긴급복구 및 응급조치 지원이며, 필요한 경우 소화구호조 지원을 하는 것이다.

사. 행정지원조

행정지원조의 조장은 당직 책임자, 조원은 당직 근무자가 되고 공휴일이나 일과 후 등 정상 근무시간 외에 방사선 비상이 발생하였을 경우에만 발족한다. 행정지원조의 역할은, 방사선 비상에 따라 비상통보 및 비상요원 소집 지원, 당직계통의 사고보고, 비상운전반장 및 당직계통 지시사항 이행, 비상요원 수송지원, 본부 전체근무자 현황 파악 및 비상기술지원실 가동 시 공무조에 현황 인계등을 수행한다. 만약, 일과시간 중에 방사선 비상이 발생 되면 행정지원조의 업무는 안전팀에서 수행하게 된다.

2. 정규 비상대응 조직

정규 비상대응 조직은 비상대응시설 가동 및 비상대책본부 발족과 운영, 사고 복구 현황 보고, 사고확대 방지, 원인조사, 피해복구 및 제염활동, 사고 영향평가, 주민 예상 피폭선량 평가, 주민 보호조치 권고 등의 비상대응 등의 활동을 수행한다. 정규 비상대응조직은 크게 네 가지 즉, 1) 비상대책본부, 2) 기술지원실, 3) 비상운영지원실, 4) 비상대책실로 구성되어 있으며, 이에 대한 내용은 다음과 같다.

가. 비상대책본부

원자력발전소 비상대책본부는 본부장, 비상대책보좌, 경영지원실장, 발전품질

보증팀장, 교육훈련센터장으로 구성되어 있다. 비상대책본부가 발족 되면, 비상대책본부장은 본부 내 방사선 비상대책 총괄 운영, 비상대책실 발족 후 비상등급 변경 및 해제 결정, 주민보호조치 권고 결정, 방재대책기관과 유기적인 협조체제 유지, 본부 내 정상호기에 대한 비상조치 결정을 한다. 비상대책 보좌역(대외협력처장)은 필요 시 비상대책본부장 지시에 따라 조직이 운영되며, 현장지휘센터에 파견 지원과 비상대책본부장 및 비상대책실장의 요청사항 처리를 한다.

나. 비상기술지원실

비상기술지원실은 비상대책실이 발족 되기 전까지 비상대책실의 기능을 수행하여 주제어실 운전원들의 혼잡을 방지하고, 주제어실 운전원에게 사고 대응에 필요한 기술적, 행정적 지원을 제공한다. 이는 주제어실 운전원이 원자로 계통조작에 직접적으로 관련이 없는 주변 업무로부터 벗어나도록 하는 것을 목적으로 한다.

비상기술지원실장(발전소장)은 비상대책실이 발족되기 전까지 사고 대응을 총괄 지휘하며 비상대책본부장의 임무를 수행하고, 비상대책본부가 발족되었을 경우, 비상대책본부장에게 비상상황 분석결과 및 대응책 보고, 중대사고 관리 전반의 중요사항에 대한 최종 결정을 제안한다. 비상기술지원실의 하위조직은 1) 기술지원반, 2) 방사선대책반, 3) 비상운전반, 4) 운전지원반으로 구성되어 있다.

다. 비상운영지원실

비상운영지원실의 역할은 비상시 정비, 소화 및 구호활동 수행, 비상시 기지명된 보수지원 요원들의 대기 장소의 역할을 하고, 주제어실 비상기술지원실 및 비상대책실과의 협조체제를 구축하고 비상대응활동을 지원하는 것이다. 비상운영지원실장은 비상운영지원실을 총괄 운영하며, 비상기술지원실과 긴급정비 협의, 소화 및 의료 관련 유관 기관과 협조체제를 유지한다. 비상운영지원실의 하위조직은 1) 정비계획반, 2) 기계반, 3) 전기반, 4) 계측제어반, 5) 정비지원반으로 구

성되어 있다.

라. 비상대책실

비상대책실의 역할은 비상시 발전소 비상대응활동 총괄, 외부 방재대책기관과의 협조, 방사성물질의 환경방출 감시 및 소내·외 방사선(능) 측정, 평가하고 주민예상피폭선량 평가 및 보호조치 권고, 대주민 홍보의 업무를 하는 것이다.

비상대책실장(운영실장)은 비상대책실을 총괄 운영하며, 방재대책기관과 협조 체제 유지, 비상상황 파악 및 대책수립, 그리고 비상대책본부장에게 종사자 및 주민보호조치를 검토 보고 한다. 비상대책실의 하위조직은 1) 행정지원반, 2) 방사선평가반, 3) 상황반, 4) 홍보반, 5) 의료반으로 구성되어 있다.

제4장 원자력발전소 비상대응조직 레질리언스 기여 인자 도출

제 4장에서는 제 2장에서 단순히 도출된 910개의 레질리언스 기여인자 중에서 원자력발전소 비상대응조직 레질리언스에 기여할 수 있는 인자를 도출하는 작업 수행 결과를 제시하고 있다. 해당 연구에서는 분석자의 주관적인 판단을 제외하고자 아래 그림 3과 같은 체계적인 절차를 제안하였다. 제안된 절차를 통해 비상대응조직의 레질리언스에 영향을 미칠 수 있는 인자를 3단계의 계층구조로 도출하였고, 각 인자에 대한 정의를 수행하였다. 제안된 프로세스는 총 세 가지의 단계로 구성되어 있으며, 각 단계에 대한 세부설명은 아래와 같다.

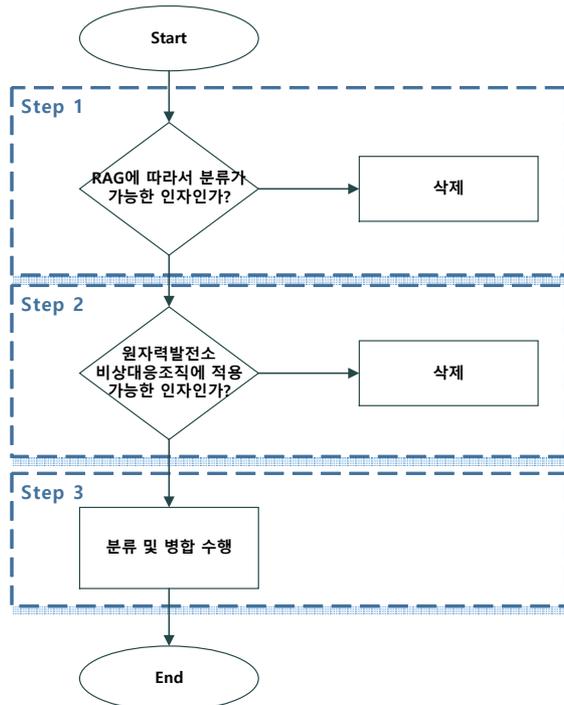


그림 3. 비상대응조직 기여인자
도출을 위한 절차

제1절 Step 1: Resilience Analysis Grid의 인자 정의에 따라 분류 가능한가?

Step 1은 Erik Hollnagel [11, 12]이 제안한 Resilience Analysis Grid (RAG) 개념에 적용가능한 인자인지를 판단하는 목적으로 제안되었다. 이 단계에서는 RAG에서 제안하는 레질리언스의 네 가지 능력을 적용하였으며, 네 가지 능력 정의는 다음과 같다.

- **반응(Respond):** 시스템의 안전을 위협하는 규칙적인 혹은 불규칙한 위험에 대해 효과적으로 반응할 수 있어야 한다(Ability to Respond).
- **감시(Monitor):** 시스템 자신 및 주변 환경에 발생하는 상황에 대하여 감시하고 단기적인 미래를 예측할 수 있어야 한다(Ability to Monitor).
- **예측(Anticipation):** 장기적인 관점에서 시스템 자신 및 주변 환경의 정보를 종합하여 잠재적인 미래 상태를 예측할 수 있어야 한다(Ability to Anticipate).
- **학습(Learn):** 사고(Accident), 고장(Incident), 사고 근접 사례(Near-miss) 등에 기반한 경험을 축적하고 이러한 경험으로부터 학습할 수 있는 능력을 갖춰야 한다(Ability to learn).

위에 제시된 네 가지 능력에 대한 세부적인 정의는 아래의 표 1과 같다. 본 연구에서는 RAG의 네 가지 능력이 원자력발전소의 비상운영조직의 레질리언스를 평가하기 위한 적절한 프레임워크라고 판단하였다. 실제로, Erik Hollnagel은 RAG의 개념을 원자력발전소 안전성 향상을 위한 척도로 제안하여 연구를 수행한 바 있다 [20].

Step 1에서는 각 기여인자들이 RAG의 네 가지 능력(반응, 감시, 예측, 학습) 중에서 어떤 항목의 기여인자로 분류될 수 있는지를 정의하기 위하여 제안되었다. 이를 위해, 도출된 910개의 기여인자들과 RAG의 각 고려사항 정의를 비교하여 분류를 수행하여 160개의 인자를 삭제하였다

표 1. RAG 네 가지 능력 및 정의 [11]

RAG 인자	정의
반응 (Respond)	반응(대응)을 할 수 있는 능력으로 운전원이 비상대응 상황에서 무엇을 해야 할지 아는 것. 또한, 규칙적이거나, 불규칙적인 변화, 방해 그리고 준비된 활동을 하거나 기능의 현재 방식을 조정함으로써 얻을 수 있는 기회 등에 반응할 수 있는 것.
감시 (Monitor)	감시할 수 있는 능력: 무엇을 찾는지 아는 것 혹은 단기간에 시스템 수행능력에 (긍정적 혹은 부정적으로) 심각하게 영향을 줄 수 있거나 줄 수 있는 것들을 감시할 수 있는 것. 감시는 주변환경에서 어떤 일이 일어나는지 시스템 그 자체의 수행능력에 도움을 줄 수 있는 것.
예측 (Anticipate)	예상할 수 있는 능력: 무엇을 기대할지 알고, 잠재적 방해, 새로운 요구, 혹은 제약, 새로운 기회, 혹은 작업 환경 변경과 같은 미래로의 발전을 예상할 수 있는 것.
학습(Learn)	배울 수 있는 능력: 무엇이 일어났는지 알고 특정한 경험에서 올바른 경험을 하고 올바른 것들을 배울 수 있는 것.

제2절 Step 2: 원자력발전소 비상대응조직에 적용 가능한 인자인가?

Step 2, 원자력발전소에 적용 가능한 인자인가? 는 타 산업분야 레질리언스 적용 사례 검토로 도출된 750개의 기여인자들이 원자력발전소 비상대응조직에 적용 가능한 인자인지를 확인하는 단계이다. 이 단계에서 원자력발전소 비상대응조직 기여인자 도출을 위하여 기준을 제시하였다. 첫 번째는 국내 원자력 법 즉, “원자력시설 등의 방호 및 방사능 방재 대책법(방사능방재법)”, 시행령, 시행규칙에서 방사선 비상대응을 위해 언급하고 있는 내용인지 확인 후, 이를 기여인자에

적용하였다. 두 번째는 원자력 및 원자력안전 관련, 원자력발전소 인간공학, 확률론적안전성평가의 인간신뢰도분석, 원자력발전소 조직 신뢰도 관련, 안전문화 관련 문헌 및 연구에서 언급하고 있는 인자인지를 확인 후, 이를 기여인자에 적용하였다.

해당 단계 수행을 위해서 아래의 그림 4와 같은 워킹시트를 제안하였다. 제안된 워킹 시트에는 연구에서 정의된 논문번호, 각 인자들의 번호, 앞서 언급된 적용 근거에 따라 법, 령, 규 각 조항의 번호, 사업자의 방사선 계획의 페이지, 원자력안전위원회의 위기관리메뉴얼 페이지, 각 문헌들의 참고문헌 번호를 이용하였다. 아래 그림 4에서 삭제위치는 스템에 따라 1, 2, 3으로 표기하였고 508개의 인자를 삭제하였다.

Num	논문 번호	Factor name	적용 근거										삭제 위치		
			법	령	규	Crisis manual	REP	Nuclear domain	Safety (Lessonse Learnd)	human factor	HRA	Safety culture			
10	4.2	Access to resources	35	17	8	29	33	3.1							
27	6.1	Availability of financial resources/reserves in time of need	35	17	8	29	33	3.1	3.3						
28	6.1	Availability of human resources in time of need	35	17	8	29	33	3.1	3.3						
29	6.1	Availability of human resources with required qualification	35	17	8	29	33	3.1	3.3	4.1					
30	5.7	Availability of Resources	35	17	8	29	33	3.1	3.3						
46	1.10	Capability and capacity of external resources	35	17	8	29	33	3.1	3.3						
47	1.10	Capability and capacity of internal resources	35	17	8	29	33	3.1	3.3						
49	6.1	Capacity of human resources	35	17	8	29	33	3.1	3.3						
71	1.4	Cooperation	25	27	16	15	58	3.1	3.2, 3.3			2.1	5.1		
72	3.3	Cooperation with other department	25	27	16	15	58	3.1	3.2, 3.3			2.1	5.1		
73	5.7	Coordination	25	27	16	15	58	3.1	3.2, 3.3			2.1	5.1		
74	6.6	Coordination	25	27	16	15	58	3.1	3.2, 3.3			2.1	5.1		
75	2.4	Coordination of the response agents	25	27	16	15	58	3.1	3.2, 3.3			2.1	5.1		
76	2.4	Coordination procedures with external stakeholders	25	27	16	15	58	3.1	3.2, 3.3			2.1	5.1		

그림 4. 원자력발전소 비상대응조직 적용가능성 판단을 위한 워킹시트

제3절 기여인자별 재분류 및 병합

Step 3은 Step 1, 2의 스크리닝 작업을 통해 살아남은 기여인자들에 대한 병합 및 재분류를 수행하는 단계이다. 이 단계에서는 기여인자들의 중복을 삭제하고 제안된 기여인자들에 대한 검토 및 재분류를 수행하였다. 실제 문헌검토를 수행한 결과, 대부분의 기여인자들은 같은 의미로서 다른 단어를 이용하였다. 대표적으로, Jooyoung Park [8] 및 Ji Tae Kim [9] 문헌에서는 Teamwork라는 기여인자

를 사용하였다. 이 문헌에서 사용된 Teamwork의 정의는 “운전원이 정보를 교환하고, 행동을 조정하고, 사회 질서를 유지하기 위해 서로 상호작용하는 방법”이다. 다른 문헌, Isyaku Salisu, et.al [13]에서는 Cooperation이라는 기여인자를 이용하였고, 이 문헌에서 사용된 정의는 “다른 조직과 정보 전달 등을 포함한 협력”을 나타내고 있다. 제시된 기여인자들은 운전원 혹은 서로 다른 조직의 상호작용을 의미하고 있어, 동일한 의미로 판단하였다. 병합을 수행하는 과정에서, Cooperation은 향후 연구에서 평가를 수행하기에 너무 큰 의미로 판단되어 Level 2로 선정하였고, Cooperation을 평가하기 위한 인자로 Teamwork를 이용하였다.

본 연구에서는 RAG에서 제안하는 4가지 능력을 Level 1 Factor로 선정하고 이에 기여하는 Level 2 Factor 21개를 도출하였다. 이렇게 도출된 Level 2 기여인자와, 그에 대한 정의, RAG (Level 1 Factors)와의 분류는 아래의 표 2에서 보여주고 있다.

그 다음 Level 2 Factor의 하위 기여인자 35개의 Item들을 도출하였다. Level 3 Items를 제안한 이유는 Level 2 Factors에 적용된 기여인자들이 광범위한 의미를 갖고 있어, 향후 원자력발전소 비상대응조직 평가를 위해서는 보다 구체적인 평가항목이 필요할 것으로 판단되어서이다. 표 3은 각 Level 2 Factors 평가별 Item과 이에 대한 정의를 보여주고 있다.

표 2. Level 1 Factors에 분류된 Level 2 Factor들과 각 정의

Level 1 Factors	Level 2 Factors	정의
Respond	Execution	비상대응을 위한 기기가 적절히 구비 되어 있는가?
	Procedures	비상 대응 수행에 요구되는 절차서가 적절히 구비 되어 있는가?
	Performance	비상 대응이 효율적으로, 제시된 시간 내에 이루어지는가?
	Adaptability	변화하는 상황에 대응하여 행동 방침 또는 팀 레퍼토리 변경을 할 수 있는가?

	Cooperation	운전원 사이, 내부조직, 타조직 간 협력
Monitor	Indication	방사선 비상 대응 및 현재 상황 파악을 위해 확인해야 하는 기기 및 지시계가 적절히 구비되어 있는가?
	Procedure	비상 대응 감시에 필요한 절차서가 적절히 구비되어 있는가?
	Duration	비상상황에서 효과적인 감시를 얼마나 오랫동안 지속할 수 있는가?
	Communication	현재 상황 완화를 위한 적절한 의사소통이 가능한가?
	Decision-making	감시 및 대응을 위한 적절한 의사결정이 가능한가?
Anticipate	Human-system Interface	비상 대응에 필요한 HSI는 적절히 구비되어 있는가?
	Human Resource	비상 대응에 필요한 조직이 적절하게 구성되어 있는가?
	Safety Culture	원자력 안전문화 원칙이 적절히 구비되어 있는가?
	Equipment Resource	비상 대응을 위한 기기가 적절히 구비되어 있는가?
	Accident Management Plan	사고 대응을 위한 사전 대책이 준비되어 있는가?
Learn	Content	조직 및 운전원 교육의 내용이 적절한가?
	Method	교육을 위한 적절한 방법이 사용되고 있는가?
	Evaluation	등급별 평가 기준이 명확하게 나타나 있는가?
	Regulation	교육일정, 방법 등이 법에 적용된 규정에 따라 적용되고 있는가?

표 3. Level 2 Factors 평가를 위한 Items 및 정의

Level 2 Factors	Items	정의
Procedures	Background	절차서가 다른 경험, 연구 등을 참조해 작성되었다면, 참조문서의 선택기준은 적절한가?
	Response List	절차서 내에서 현재 상황에 대응하는 데 필요한 행위들이 명확하고 구조적으로 List-up 되어 있는가?
	Revision	발전소 상황 및 국내외 원자력 업계에서 제안하고 있는 내용을 기반으로, 절차서에 대한 Revision이 반영되고 있는가?
Performance	Speed	얼마나 빠르게 현재 상황에 대응할 수 있는가?
	Duration	비상상황에서 효과적인 대응을 얼마나 오랫동안 지속할 수 있는가?
	Accuracy	비상상황에서 현재 상황에 얼마나 정확히 대응할 수 있는가?
Adaptability	Stop Rule	절차서 내에서 상황을 종료시키기 위한 조건은 제안되어 있는가?
	Verification	만약 전략, 규칙 혹은 절차서가 상황에 맞지 않는다면 구성원들이 그것을 확인하고 입증할 수 있는 능력이 있는가?
	Alternative Selection	기존 계획(대응방안)을 대체할 수 있는 대안이 수립되어 있는가?
Communication	Leadership	발전소 사고상황에서 적절한 의사결정과 이에 대한 정보 공유를 할 수 있는가?
	Reporting	발전소 사고상황을 타 그룹(발전소 내부 조직, 외부조직 등)에 신속하고 정확하게 알려 빠른 상황 파악과 대처를 할 수 있는가?
Decision-making	Efficiency of Decision-making	의사결정을 수행하는 상황에서 정보 습득 및 정보 공유 등을 통하여 실제 적절한

	ng	의사결정까지의 시간이 얼마나 걸리는가?
	Meaningfulness	상황에 직접적인 변수를 측정하는가?
	Situation Awareness	의사결정을 위해, 현재 발전소 상태에 대한 인지는 적절히 할 수 있는가?
Human-system Interface	Preparedness	Human-System Interface가 구비 되어 있는가?
	Human Factors Engineering Design	Human System Interface는 Human Factors Engineering Program에 따라 설계 되었는가?
	Similarity	평상시 사용하는 HSI와 유사성은 있는가?
Human Resource	Number	직무를 수행하는데 필요한 수의 인원이 구성되어 있는가? 여러 사고 상황에서 필요한 인력이 실제로 모일 수 있는가?
	Qualification	
	Role	
	Structure	
Equipment Resource	Fixed Safety System	사고 완화 등을 위해 필요한 안전 시스템이 구비 되어 있는가?
	Redundancy	기존에 존재하는 시스템이 실패하였을 때 대체할 수 있는 System 및 Component가 적절히 구비 되어 있는가?
Accident Management Plan	Time Horizon	방사선 비상에 대한 예측이 가능한가?
	Emergency Planning	원자력산업계의 Lessons Learned (AMP, ST등)을 반영하여, 발전소 비상 대응에 필요한 교육, 행위, 등에 대한 계획이 적절하게 구비 되어 있는가?
Content	Expertise	얼마나 전문성을 가진 사람이 교육에 강사로 참여하는가?
	Purpose	교육의 목표는 얼마나 명확히 설정되어 있는가?
	Knowledge	운전원에게 제공되는 지식은 발전소 전문

		지식을 포함하고 있는가?
Method	Simulation	운전원 교육이 시뮬레이터 기반으로 수행되는가? 만약 그렇다면 현실에서는 발생하기 힘든 상태까지 포괄할 수 있는가?
	Education	시뮬레이터 기반 학습 이외에 운전원이 교육이 이루어진다면, 그 교육에서는 시뮬레이션 외에서 가능한 모든 정보를 얻을 수 있는가?
Regulation	Frequency	국가 법령 기준으로 얼마나 자주 훈련 수행하는가?
	Delay	방사능 재난의 사후 분석과 학습 사이에 어느 정도의 시간이 소요되는가? 재난분석 결과는 조직 내외부에 어느 정도 신속하게 보고 및 활용되는가?

제4절 원자력발전소 비상대응 조직의 레질리언스 기여인자 도출 결과

4.1에서 수행된 결과를 기반으로, 원자력발전소 비상대응조직 레질리언스 기여인자 구조는 아래의 그림 5와 같다.

문헌검토 결과로 도출된 전체 910개의 기여인자는 각 스텝에 따라 스크리닝, 삭제, 병합되었다. 우선 Step 1, 원자력발전소 비상대응조직에 적용 가능한 인자인가? 수행 결과로, 기존 910개의 단순 도출된 기여인자는 앞서 언급된 두 가지의 기준을 모두 만족 시키지 못한 경우, 기여인자에서 제외하였다. Step 1에서 전체 910개의 기여인자 중, 삭제된 기여인자는 대표적으로 다음의 표 4와 같다.

표 4. RAG 개념에 적용 불가능한 인자 예시

저자	삭제인자	삭제인자 정의
Salisu et al. [13]	Intimacy	운전원 혹은 비상대응조직원들 간의 친밀감
	Individual's Ability	운전원 또는 비상대응조직원들 개개인의 능력
	Know where to Turn for Help	어려움이 있을 때 도움을 청할 곳을 아는 것
Lee et al. [15]	Staff Engagement	조직적 레질리언스와 장기간 목표달성 관련성의 이해를 돕기 위한 고용자들의 약속과 헌신
Rehak et al. [40, 41]	Asset Monitoring	자본의 정보를 기록하는 하드웨어나 소프트웨어 시스템
	Allocation of the Financial Resources	조직의 전략적 목표 달성을 돕기 위해서 금융 자본을 할당하고 관리하는 것.
	Material Resources	나무, 유리, 금속 등 재료적 형태를 띠고 있는 자원
Renschler et al. [43]	Financial Resources	조직 내에서 이용 가능한 재정적 자원
Patriarca et al. [44]	International Guidelines	각국의 경험을 바탕으로 얻는 조언

다음으로 Step 2는 Step 1 수행 결과로 제안된 기여인자 총 750개를 대상으로 수행되었다. 이 단계에서 RAG 네 가지 능력으로 분류할 수 없는 경우 기여인자에서 제외하였다. Step 2에서는 242개의 기여인자가 도출되었으며, 삭제된 기여인자는 대표적으로 다음의 표 5와 같다.

표 5. 원자력발전소 비상대응조직에 적용 불가능한 인자 및 삭제 이유 예시

저자	삭제인자	삭제인자 정의	인자 삭제 이유
Salisu et al. [13]	Self-esteem	개인의 자부심	원전 비상대응조직에 적용이 불가능한 인자로 판단.
	Friends	개인의 문제에 대해 의논할 수 있는 가까운 친구가 있는지를 나타내는 것	사회적인 지원을 측정할 수 있는 인자로 발전소 비상대응조직과 무관하다고 판단.
	Cheerful Mood	주변의 분위기가 쾌활한지를 평가하는 것	사회적인 역량을 측정할 수 있는 인자로 발전소 비상대응조직에 적용할 수 없을 것으로 판단.
McManus et al. [17]	Market Knowledge	현재 시장의 상태를 파악하고 아는 것	안전적 자산투자의 의미가 강한 인자로 판단.
	Cash Flow	기업, 조직, 혹은 개인의 현금 유동	발전소 비상대응조직과 거리가 멀어 적용할 수 없다고 판단.
Salanova et al. [19]	Making Change in the Workplace	업무 자원, 사회적 자원, 조직적 관행, 그리고 작업 환경에서의 긍정적 변화 소개를 포함하는 의미	정해진 절차가 있고 그 절차를 따라가야 하는 비상대응 조직에는 적용할 수 없어 삭제.
	Relishing	좋은 순간을 즐기며 공유하고 그 후에 다시 회상하는 행위들	비상대응조직에 적용할 수 없을 것으로 판단되어 삭제.

	Practising Mindfulness	마음가짐을 실천하는 것을 의미	마음가짐은 원전 비상대응조직에 적용할 수 없을 것으로 판단.
Morales et al. [25]	Fault-tolerance	발전소의 비상 상황에서 실수를 용인한다는 의미	원전 비상대응조직에 적용할 수 없을 것으로 판단되어 삭제.
	Self-organization	시스템의 구조가 외부로부터의 압력과 관련이 없이 스스로 혁신적인 방법으로 조직을 꾸려 나가는 것	이미 조직의 체계가 문서화 되어 있고, 각각의 역할 또한 정해져 있기 때문에 적용하기 어려운 분야로 판단.
	Driving Forces	누군가 혹은 무언가에게 어떤 일이 일어날 수 있게 하는 힘	비상대응조직은 사고 시 미리 준비된 절차서에 따라 조직이 편성되고 그 업무 또한 이미 정해져 있기 때문에 적절하지 않은 인자라고 판단,
Santomauro et al. [28]	Self-blame	건강 관리 분야에서 의료사고로 인해 환자가 죽었을 때 의료진이 환자의 죽음을 야기했다고 느끼는 것	발전소 분야에는 적용이 힘든 인자라고 판단.
	Loss of Sleep	잠이 부족한 사람은 환자를 해칠 가능성이 있는 실수를 더 많이 한 경향이 있는 것	발전소 비상대응조직과는 관련성이 많이 떨어지는 부분이라고 판단.
Rehak et al. [40, 41]	Level of Innovation in Security Measures	보안 대책에서의 혁신의 수준	보안 대책이 발전소 내에서 중요한 부분이지만 보안 대책에서의 혁신의 수준이 발전소 비상대응조직과는

			관련성이 많이 떨어지는 부분으로 판단.
Renschler et al. [43]	Soil	토양	발전소 비상대응조직과 무관하다고 판단.
	Lifelines	음식 공급, 건강 관리, 공익 사업, 교통, 그리고 의사소통의 네트워크를 포함하는 생명선	발전소와 거리가 먼 인자로 판단.
	Quality of Life	운전원 혹은 비상대응 조직원의 삶의 질	발전소 비상대응조직과 무관하다고 판단.
	Health Service	보건 및 건강 관리 서비스	발전소 비상대응조직과 무관하다고 판단.
	Production	생산품	발전소는 전기를 생산해내기는 하지만 비상시에는 전기를 생산하는 데에 집중하기 보다 비상사태를 빠르게 파악하고 대처하는 것이 중요하다고 판단해 삭제함.

마지막으로, Step 3에서는 분류 및 병합을 통해 총 56개의 기여인자가 선택되었다. 병합 및 삭제된 인자는 대표적으로 다음의 표 6과 같다.

표 6. 병합 및 삭제된 인자 예시

제안된 기여인자	정의	저자	병합된 기여인자
Cooperation	타인 및 타 조직과의 협력	Salisu et al. [13]	Cooperation
		Park et al. [8]	Teamwork
		Kim et al. [9]	
		Kamanja et al. [21]	
		Azadeh et al. [24]	
		Iflaifel et al. [29]	
		Patriarca et al. [44]	
		Gonzalo et al. [52]	Coordination
		Heese et al. [36]	
		Rioli et al. [45]	Organizational Connectivity
Lee et al. [15]			
Leadership	조직적 레질리언스의 제고를 위해 관리자가 할 수 있는 약속 또는 도움을 주며 상황에 맞게 올바른 의사결정을 내리는 것	Morales et al. [25]	Leadership
		Barasa et al. [30]	
		Omer et al. [38]	
		Johns et al. [53]	
		Lee et al. [15]	
		McManus et al. [17]	Top Management

		Shirali et al. [23]	Commitment
		Saurin et al. [39]	
		Morales et al. [25]	Vision Sharing
			Management of Change
			Supervision and Control of Disruption
Accident Management Plan	시스템 또는 조직에서 사고 발생 시 사고 확산을 막아 사고 영향을 완화하기 위해 시스템 또는 조직을 정상 상태로 회복시키기 위한 행동과 계획의 의미	원자력안전위원회 고시에 따라 작성하고 있는 사고 관리 계획서로부터 Accident Management Plan이라는 기여인자를 도출함.	Accident Management Plan
		McManus et al. [17]	Direct Planning
			Indirect Planning
		Lee et al. [15]	Planning Strategies
		Rehak et al. [40, 41]	Planning for Function Recovery
			Recovery Planning
		Patriarca et al. [44]	Planning of Training Activities
		Barasa et al. [30]	Preparedness and Planning
Omer et al.			

		[38]	
Communi cation	개인, 조직이 타 공동체와 정보, 의사 등을 교환하는 것을 의미	McManus et al. [17]	Communication
		Lee et al. [15]	
		Park et al. [8]	
		Kim et al. [9]	
		Kamanja et al. [21]	
		Chuang et al. [31]	
		Patriarca et al. [44]	
		Rioli et al. [45]	
		Gomes et al. [26]	External Communication
	Request for Information		

상기 제안된 프로세스에 따라 도출된 비상대응조직 평가 항목 구조는 다음의 그림 5와 같다. 또한, 각 기여인자의 실제 평가에 사용할 척도(정의)를 정의하였다. 척도(정의)는 각 문헌에서 제안하고 있는 내용을 기반으로 작성하였으나, 일부는 원전 비상대응조직에 바로 적용하는 것이 적합하지 않다고 판단하였다. 이에 따라서, 기초적인 의미는 인용하고, 원자력발전소 적용에 부합하도록 일부는 수정하는 작업을 수행하였다. 아래의 표 7은 Level 2 기여인자의 정의를 나타내었고, 표 8은 Level 3 Items의 정의를 나타내었다.

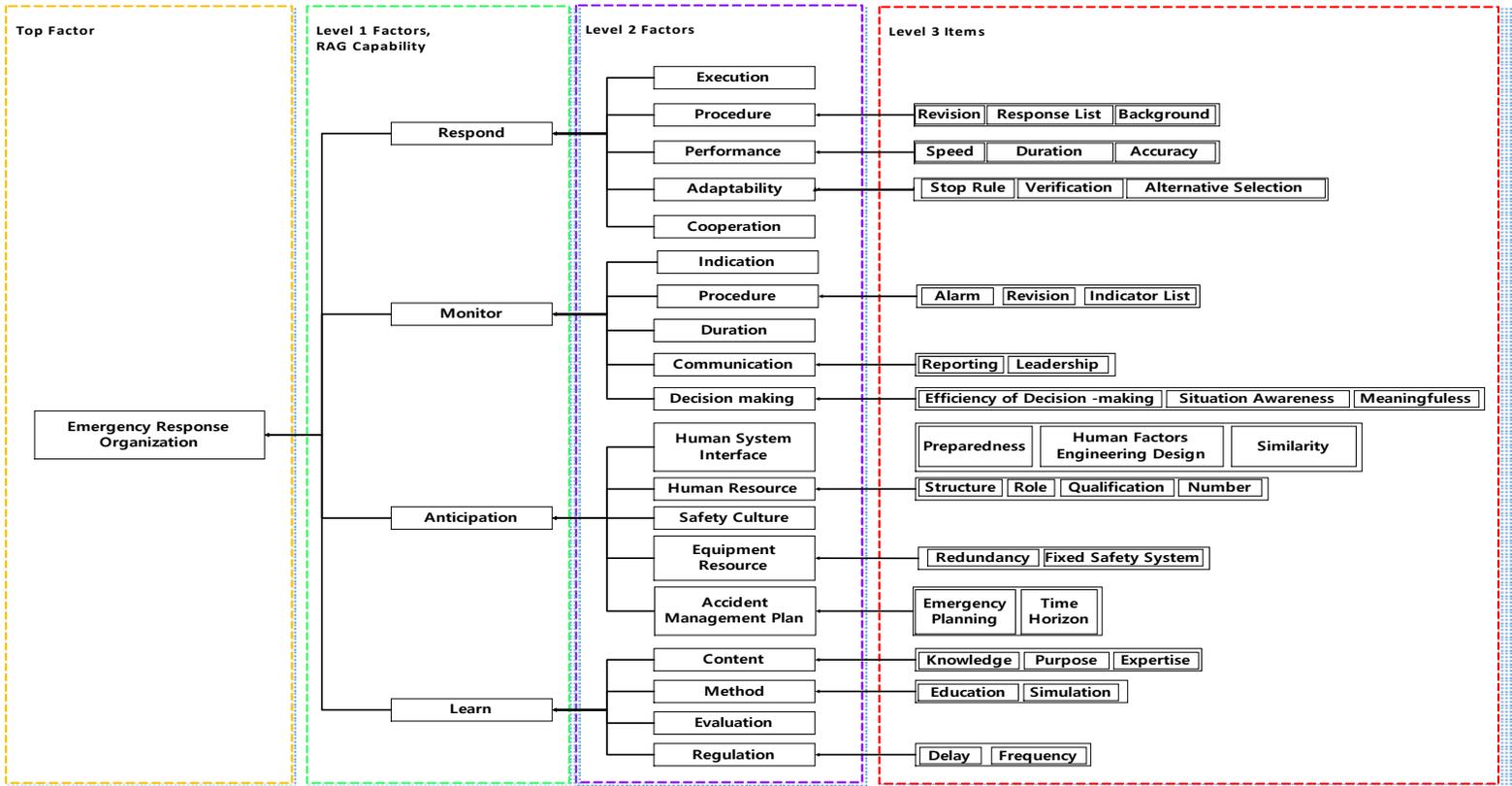


그림 5. 원자력발전소 비상대응조직 레질리언스 기여인자 구조

표 7. Level 2 기여인자의 정의

Level 1 RAG	Level 2 Factors	정의
Respond	Execution	비상대응을 위한 기기가 적절히 구비 되어 있는가?
	Procedures	비상 대응 수행에 요구되는 절차서가 적절히 구비 되어 있는가?
	Performance	비상 대응이 효율적으로, 제시된 시간 내에 이루어지는가?
	Adaptability	변화하는 상황에 대응하여 행동 방침 또는 팀 레퍼토리 변경을 할 수 있는가?
	Cooperation	운전원 사이, 내부조직, 타조직 간 협력
Monitor	Indication	방사선 비상 대응 및 현재 상황 파악을 위해 확인해야 하는 기기 및 지시계가 적절히 구비 되어 있는가?
	Procedures	비상 대응 감시에 필요한 절차서가 적절히 구비 되어 있는가?
	Duration	비상상황에서 효과적인 감시를 얼마나 오랫동안 지속할 수 있는가?
	Communication	현재 상황 완화를 위한 적절한 의사소통이 가능한가?
	Decision-making	감시 및 대응을 위한 적절한 의사결정이 가능한가?
Anticipate	Human-system Interface	비상 대응에 필요한 HSI는 적절히 구비 되어 있는가?
	Human Resource	비상 대응에 필요한 조직이 적절하게 구성되어 있는가?
	Safety Culture	원자력 안전문화 원칙이 적절히 구비 되어 있는가?
	Equipment Resource	비상 대응을 위한 기기가 적절히 구비 되어 있는가?
	Accident Management Plan	사고 대응을 위한 사전 대책이 준비되어 있는가?
Learn	Content	조직 및 운전원 교육의 내용이 적절한가?
	Method	교육을 위한 적절한 방법이 사용되고 있는가?
	Evaluation	등급별 평가 기준이 명확하게 나타나 있는가?
	Regulation	교육일정, 방법 등이 법에 적용된 규정에 따라 적용되고 있는가?

표 8. Level 3 Items의 정의

Level 2 Factors	Level 3 Items	Definition
Procedures	Background	절차서가 다른 경험, 연구 등을 참조해 작성되었다면, 참조문서의 선택기준은 적절한가?
	Response List	절차서 내에서 현재 상황에 대응하는 데 필요한 행위들이 명확하고 구조적으로 List-up 되어 있는가?
	Revision	발전소 상황 및 국내외 원자력 업계에서 제안하고 있는 내용을 기반으로, 절차서에 대한 Revision이 반영되고 있는가?
Performance	Speed	얼마나 빠르게 현재 상황에 대응할 수 있는가?
	Duration	비상상황에서 효과적인 대응을 얼마나 오랫동안 지속할 수 있는가?
	Accuracy	비상상황에서 현재 상황에 얼마나 정확히 대응할 수 있는가?
Adaptability	Stop Rule	절차서 내에서 상황을 종료시키기 위한 조건은 제안되어 있는가?
	Verification	만약 전략, 규칙 혹은 절차서가 상황에 맞지 않는다면 구성원들이 그것을 확인하고 입증할 수 있는 능력이 있는가?
	Alternative Selection	기존 계획(대응방안)을 대체할 수 있는 대안이 수립되어 있는가?
Procedures	Alarm	절차서 내에서 현재 상황을 감시할 수 있는 경보 List가 적절히 작성되어 있는가?
	Indicator List	절차서 내에서 현재 상황을 감시할 수 있는 변수 List가 적절히 작성되어 있는가?
	Revision	발전소 상황 및 국내외 원자력 업계에서 제안하고 있는 내용을 기반으로,

		절차서에 대한 Revision은 얼마나 수행되는가?
Communication	Leadership	발전소 사고상황에서 적절한 의사결정과 이에 대한 정보 공유를 할 수 있는가?
	Reporting	발전소 사고상황을 타 그룹(발전소 내부조직, 외부조직 등)에 신속하고 정확하게 알려 빠른 상황 파악과 대처를 할 수 있는가?
Decision-making	Efficiency of Decision-making	의사결정을 수행하는 상황에서 정보 습득 및 정보 공유 등을 통하여 실제 적절한 의사결정까지의 시간이 얼마나 걸리는가?
	Meaningfulness	상황에 직접적인 변수를 측정하는가?
	Situation Awareness	의사결정을 위해, 현재 발전소 상태에 대한 인지는 적절히 할 수 있는가?
Human-system Interface	Preparedness	Human-System Interface가 구비 되어 있는가?
	Human Factors Engineering Design	Human System Interface는 Human Factors Engineering Program에 따라 설계 되었는가?
	Similarity	평상시 사용하는 HSI와 유사성은 있는가?
Human Resource	Number	직무를 수행하는데 필요한 수의 인원이 구성되어 있는가? 여러 사고 상황에서 필요한 인력이 실제로 모일 수 있는가?
	Qualification	특별한 자격이 요구될 경우 필요한 자격이 있는 인원이 구성되어 있는가?
	Role	각 구성원이 해야 하는 역할 및 책임이 얼마나 구체적으로 정의되어 있고, 그 권한의 범위 및 한계가 얼마나 명확한가? 담당자는 얼마나 이를 인식할 수 있는가?

	Structure	국가법령에서 제안하고 있는 정보를 기반으로 적절한 구조로 비상대응조직을 설립하였는가?
Equipment Resource	Fixed Safety System	사고 완화 등을 위해 필요한 안전 시스템이 구비 되어 있는가?
	Redundancy	기존에 존재하는 시스템이 실패하였을 때 대체할 수 있는 System 및 Component가 적절히 구비 되어 있는가?
Accident Management Plan	Time Horizon	방사선 비상에 대한 예측이 가능한가?
	Emergency Planning	원자력산업계의 Lessons Learned (AMP, ST등)을 반영하여, 발전소 비상 대응에 필요한 교육, 행위, 등에 대한 계획이 적절하게 구비 되어 있는가?
Content	Expertise	얼마나 전문성을 가진 사람이 교육에 강사로 참여하는가?
	Purpose	교육의 목표는 얼마나 명확히 설정되어 있는가?
	Knowledge	운전원에게 제공되는 지식은 발전소 전문 지식을 포함하고 있는가?
Method	Simulation	운전원 교육이 시뮬레이터 기반으로 수행되는가? 만약 그렇다면 현실에서는 발생하기 힘든 상태까지 포괄할 수 있는가?
	Education	시뮬레이터 기반 학습 이외에 운전원이 교육이 이루어진다면, 그 교육에서는 시뮬레이션 외에서 가능한 모든 정보를 얻을 수 있는가?
Regulation	Frequency	국가 법령 기준으로 얼마나 자주 훈련 수행하는가?
	Delay	방사능 재난의 사후 분석과 학습 사이에 어느 정도의 시간이 소요되는가? 재난분석 결과는 조직 내외부에 어느 정도 신속하게 보고 및 활용되는가?

제 5장 기여인자별 좋은사례 및 개선점

본 연구에서는, 4장에서 제안된 기여인자에 대한 좋은사례 및 개선점을 제시하였다. 좋은 사례 및 개선점을 제시하는 목적은 향후 본 연구결과를 기반으로 추가 연구(신뢰도평가)가 진행 될 때, 설문지 작성등에 도움이 될 것으로 예상되었다. 이에 대해 좋은 사례 및 개선점은 실제 원자력발전소를 바탕으로 조사를 수행하였다. 조사를 기반으로 도출된 원자력발전소 비상대응조직 신뢰도평가 인자별 정의, 좋은사례, 개선점은 아래의 표 9와 같다.

표 9. 원자력발전소 비상대응조직 신뢰도평가 인자별 좋은사례 및 개선점

Definition of Items				
Level 2 Factors	Level 3 Items	정의	좋은사례	개선점
Procedures	Background	절차서가 다른 경험, 연구 등을 참조해 작성되었다면, 참조문서의 선택기준은 적절한가?	○ 절차서에 최신 도면, 운전 경험 및 설계변경 사항 등이 반영되어 있는지 주기적으로 평가를 수행함	○ 절차서의 적정성을 위하여 주기검토 등을 실시하지만 참조문서의 적절성을 세부적으로 논하기는 한계가 있음
	Response list	절차서 내에서 현재 상황에 대응하는 데 필요한 행위들이 적절히 List-up 되어 있는가?	○ 비상대응을 위한 방사선 비상계획서를 작성하여 운영 중에 있으며, 발전소 별 비상절차서가 작성되어 있음	○ 절차서 및 비상계획서에 세부내용이 기술되어 있지만 절차서 내용을 제대로 숙지하지 못하면 인적실수 요인이 발생할 수 있음
	Revision	발전소 상황 및 국내외 원자력 업계에서 제안하고 있는 내용을 기반으로, 절차서에 대한 Revision이 반영되고 있는가?	○ 국내외 발전소의 중요 운전경험을 검토 및 분석하기 위해 중앙연구원에 별도의 조직과 절차서를 수립하여 운영 중이며, 절차서의 유효성 평가를 주기적으로 수행함	○ 비상대응을 위한 절차서 등 최신본 개정 시 즉시 교체가 안되어 절차서 사용 시 구버전을 사용하는 사례가 있을 수 있음

Performance	Speed	얼마나 빠르게 현재 상황에 대응할 수 있는가?	○ 비상발령 상황 발생 시 15분 이내에 비상발령을 하고 비상발령 후 15분 이내에 유관기관에 통보함	○ 훈련 시에는 사전의 시나리오를 통해 발생 시점을 예측할 수 있지만 불시 훈련에서는 지연될 소지가 있음.
	Duration	비상상황에서 효과적인 대응을 얼마나 오랫동안 지속할 수 있는가?	○ 발전소의 모든 필수 안전기능이 만족할 때까지 반복적으로 확인할 수 있는 절차(원자로 트립)를 수립하여 운영중임	○ 조직원의 절차 미준수 사례 발생 시 예기치 않은 문제 발생할 수 있음
	Accuracy	비상상황에서 현재 상황에 얼마나 정확히 대응할 수 있는가?	○ 운전부서 인력의 자의적 판단을 배제하고 객관성을 확보하기 위해 '사고진단' 절차서에 따라 사고를 진단하고 적용할 절차서를 결정함	○ 운영기술지침서(절차서 포함)등 에서 사고 시 적용하여야 할 지침 등 절차가 수립되어 있지만 운전원의 자의적 판단에 의거 인적실수를 유발할 수 있고 지침에 따른 초기 대응을 실패할 수 있는 소지가 있음.
Adaptability	Stop rule	절차서 내에서 상황을 종료시키기 위한 조건은 제안되어 있는가?	○ 모든 비상절차서 마다 절차서의 적용 시점에 해당하는 조건과 종료 조건을 구체적으로	○ 절차서 내용을 단계별 숙지하지 않거나 절차 미준수 시 예기치 않은 문제 발생할 수 있음

	Verification	만약 전략, 규칙 혹은 절차서가 상황에 맞지 않는다면 구성원들이 그것을 확인하고 입증할 수 있는 능력이 있는가?	명시하고 있음 ○ 모든 비상절차서마다 절차서의 적용 시점에 해당하는 조건과 종료 조건을 구체적으로 명시하고 있음	○ 절차서 또는 지침서 내용에 따라 업무를 수행하기에 절차서 내용이 잘못되었을 경우 경험이 풍부하지 못한 직원은 판단 오류를 범 할수 있는 요소가 있음
	Alternative selection	기존 계획(대응방안)을 대체할 수 있는 대안이 수립되어 있는가?	○ 모든 비상절차서는 조치 필요사항과 예상 발전소 반응 및 불만족 시 조치사항을 구체적으로 기술하고 있음	○ 절차서 내용을 단계별 숙지하지 않거나 절차 미준수 시 예기치 않은 문제 발생할 수 있음
Procedures	Alarm	절차서 내에서 현재 상황을 감시할 수 있는 경보 List가 적절히 작성되어 있는가?	○ 경보 List 가 있으며, 경보 발생 시 원인, 자동 동작 사항 뿐 아니라 조치 필요사항과 참조 자료가 기록된 절차서를 운영 중임	○ 경보 List는 있지만 기기 고장에 따른 오신호 발생 가능성 상존
	Indicator list	절차서 내에서 현재 상황을 감시할 수 있는 변수 List가 적절히 작성되어 있는가?	○ 변수 List 가 있으며, 변수 별 최소/최대값, 경보값, 자동동작신호 발생값이 기록된 절	○ 변수 List 가 있지만 변수를 가리키는 시스템 작동 에러발생 시 변수가 왜곡될 수 있음

	Revision	발전소 상황 및 국내외 원자력 업계에서 제안하고 있는 내용을 기반으로, 절차서에 대한 Revision은 얼마나 수행되는가?	차서를 운영 중에 있음 ○ 국내외 발전소의 중요 운전 경험을 검토 및 분석하기 위해 중앙연구원에 별도의 조직과 절차를 수립하여 운영 중이며, 절차서의 유효성 평가를 주기적으로 수행함	○ 절차서 주기검토를 통하여 반영하고 있지만 검토 주기가 지나 적기에 Revision이 안되는 경우도 있음
Communication	Leadership	발전소 사고상황에서 적절한 의사결정과 이에 대한 정보 공유를 할 수 있는가?	○ 위기 상황 발생 시 발전소 인원 뿐 아니라 본사 및 유관기관 간 긴밀한 협력체제를 유지하여 관리함	○ 평상시 근무시간(주간)에는 보고체계를 적극 활용하여 신속한 의사결정과 정보공유가 가능하지만, 휴일 및 야간 등 취약 시간에는 비상연락체계를 활용할 수밖에 없기에 지연될 소지가 있음
	Reporting	발전소 사고상황을 타 그룹(발전소 내부조직, 외부조직 등)에 신속하고 정확하게 알려 빠른 상황 파악과 대처를 할	○ Event 발생 시 대내외 기관에 신속한 보고 및 정보 전달을 담당하는 행정지원반 및 홍보반을 운영함	○ 평상시 근무시간(주간)에는 보고체계를 적극 활용하여 신속한 상황 파악과 대처가 가능하지만, 휴일 및 야간 등 취약 시간에는 비상연락체계를 활용할

		수 있는가?		수밖에 없기에 지연될 소지가 있음
Decision-Making	Delay	의사결정을 수행하는 상황에서 정보 습득 및 정보 공유 등을 통하여 실제 적절한 의사결정까지의 시간이 얼마나 걸리는가?	○ 비상대응 조직별 임무에 따라 신속한 의사결정과 이행 가능성 확인을 위해 주기적으로 훈련을 시행하고 있음	○ 발전소 내에서 문제 발생 시 신속한 의사결정이 가능하지만 사안에 따라 외부(민간감시단)요인이 관여하는 상황에서는 신속한 의사결정이 안되는 경우가 있음
	Meaningfulness	상황에 직접적인 변수를 측정하는가?	○ 다소 예산이 수반되더라도 다양한 정보를 주제어실에 제공하고 있음	○ 짧은 시간에 할 수 있는 측정 변수도 있지만 직접 데이터를 취득하기 위해서는 오랜 시간이 소요되는 상황도 있음
	Situation awareness	의사결정을 위해, 현재 발전소 상태에 대한 인지는 적절히 할 수 있는가?	○ 운전부서 인력의 자의적 판단을 배제하고 객관성을 확보하기 위해 '사고진단' 절차서에 따라 사고를 진단하고 적용할 절차서를 결정함	○ 운영기술지침서(절차서 포함)등 에서 사고 시 적용하여야 할 세부내용이 수록되어 있지만 절차 미준수와 운전원의 자의적 판단에 의거 인적실수를 유발할 소지가 있음.
Staffing(Human Resource)	Number	직무를 수행하는데 필요한 수의 인원이 구성되어 있는가?	○ 본부 내 조직 기준 180명(비상대책실: 71명, 비상기술지원실: 53명, 비상운영지원실: 56	○ 조직도상으로는 비상대응에 필요한 인원이 구성되어 있지만 코로나19 등으로 인한 재택근무, 휴가, 교육 등 인원 부족

			명)	시 결원 가능성 있음
	Qualification	특별한 자격이 요구될 경우 필요한 자격이 있는 인원이 구성되어 있는가?	○ 주제어실 근무 인력의 대부분이 RO 또는 SRO 자격을 보유하고 있음	○ 발전소 운영조건에 포함되어 있어 자격보유 인원은 적정 유지 되지만 신생 발전소인 경우 면허인력 부족으로 인해 직원 휴가, 교육 등 사유 발생 시 대근 업무가 원활하지 않았던 사례가 있음
	Role	각 구성원이 해야 하는 역할 및 책임이 적절히 정의되어 있는가?	○ 운전조직은 3조 교대 근무 형태로 발전소 운전업무를 전담하고 있으며, 주기적인 교육을 통해 운전능력을 향상시키고 있음	○ 비상계획서 등에는 각 구성원들의 책임과 역할이 기록되어 있지만 실제 참가하는 요원은 본인의 임무와 책임을 숙지하지 못하는 경우가 간혹 있음
	Structure	국가법령에서 제안하고 있는 정보를 기반으로 적절한 구조로 비상대응 조직을 설립하였는가?	○ 원자력시설 등의 방호 및 방사능방재대책법, 시행령 및 시행규칙과 원자력안전위원회 고시 '원자력사업자의 방사선 비상대책'에 따라 방사선 비상계획서를 수립하여 운영 중임	○ 조직도상으로는 비상대응에 필요한 조직이 구성되어 있지만 코로나19 등으로 인한 재택근무, 휴가, 교육 등 인원 부재 시 결원 가능성 있음
Resource	Fixed safety	사고 완화 등을 위해 필	○ 정상운전 중에 사용	○ 비상상황 시 사고 완화를 위

	system	요한 안전 시스템이 구비 되어 있는가?	하지 않고 오직 비상상황 대비를 위한 격납 건물 살수계통, 안전주입계통 등이 설치되어 있음	한 안전 시스템을 운전원 인적 실수 없이 신속하게 수행할 수 있도록 주기적 교육(학습)필요
	Redundancy	기존에 존재하는 시스템이 실패하였을 때 대체할 수 있는 System 및 Component가 적절히 구비 되어 있는가?	○ 발전소 기기의 기능 상실에 대비한 다중 채널 개념과 다중 보호 개념이 설계에 반영되어 있음	○ 비상상황 시 사고 완화를 위한 안전시스템을 운전원 인적실수 없이 신속하게 수행 할 수 있도록 주기적 교육(학습)필요
Accident management plan	Time horizon	방사선 비상에 대한 예측이 가능한가?	○ 방사선 비상상황 발생 시 객관적인 사실에 근거하여 방사선 비상을 발령할 수 있도록 50여 가지 시나리오 별 기준이 문서화 되어 있으므로 예측이 가능함	○ 시나리오 범위 밖에서의 상황은 예측이 불가 할 수 있음
	Emergency planning	원자력산업계의 Lessons Learned (AMP, ST등)을 반영하여, 발전소 비상 대응에 필요한 교육, 행	○ 비상대응을 위한 방사선 비상계획서를 작성하여 운영 중에 있으며, 발전소 별 비상절차서가	○ 비상계획서 및 발전소별 비상절차서가 구비되어 있지만 해당 절차를 숙지하는 직원은 많지 않음, 직원들 교육 필요

		위, 등에 대한 계획이 적절하게 구비 되어 있는가?	작성되어 있음	
Content	Expertise	얼마나 전문성을 가진 사람이 교육에 강사로 참여하는가?	○ 원자력발전소의 특성상 상당 기간의 입사 후 교육과 주기적인 교육을 받고 있음	○ 전문성 향상을 위해 양성된 인재가 해당 분야가 아닌 비전문분야로 이동하는 사례가 있음
	Purpose	교육의 목표는 설정되어 있는가?	○ 매년 교육계획을 수립하여 운영하고 있음	○ 교육은 교육 계획의 의해 시행되고 있지만 온라인 교육은 집합 교육보다 형식적으로 수행(클릭만 수행)되는 경향이 있음
	Knowledge	운전원에게 제공되는 지식은 발전소 전문지식을 포함하고 있는가?	○ 운전원에게 발전소 전문지식을 제공하기 위해 교육기관에 소속된 교수 요원들을 양성하고 있음	○ 운전원 중 근무경력이 오래되지 않는 직원을 고려해서 교육내용을 해당 발전소 뿐만 아니라 타 발전소 운전 경험 사례(내용)를 확대 배정하여 교육을 수행할 필요가 있음
Method	Simulation	운전원 교육이 시뮬레이터 기반으로 수행되는가? 만약 그렇다면 현실에서는 발생하기 힘든	○ 발전소의 원자로 형태별 시뮬레이터를 설치하여 운전원 교육에 사용하고 있음	○ 정기적 시뮬레이터 교육을 수행하지만, 현장 설비운전(운영)에 대한 교육은 다소 미흡함.

		상태까지 포괄할 수 있는가?		
	Education	시뮬레이터 기반 학습 이외에 운전원이 교육이 이루어진다면, 그 교육에서는 시뮬레이션 외에서 가능한 모든 정보를 얻을 수 있는가?	○ 운전원 교육은 강의실 전달 교육, 토론식 교육, 자체 연구 및 시뮬레이터 실습교육을 수행함	○ 정기적 시뮬레이터 교육을 수행하지만, 현장 설비운전(운영)에 대한 교육은 다소 미흡함.
Regulation	Frequency	국가법령 기준으로 얼마나 자주 훈련 수행하는가?	○ 운전원에 대한 교육은 매년 2~3회, 회당 3주 동안 교육이 이루어짐	○ 국가법령에 따라 교육을 수행함에 있어 해당 교육 기간에 개인적 사유(휴가, 교육 등) 발생 시 교육을 이수하는지 확인 필요
	Delay	방사능재난의 사후 분석과 학습 사이에 어느 정도의 시간이 소요되는가? 재난분석결과는 조직 내외부에 어느 정도 신속하게 보고 및 활용되는가?	○ 비상대응 조직별 임무에 따라 신속한 의사결정과 이행 가능성 확인을 위해 주기적으로 훈련을 시행하고 있음	○ 방재훈련 등 법령에 따른 훈련은 실시되고 있지만 결과에 대해서는 조직 내 공유가 미흡함

제6장 결론

본 연구는 국내 원자력발전소 비상대응조직의 레질리언스 기여인자를 도출하기 위해, 1) 국내외 타산업분야 레질리언스 적용 사례 검토, 2) 국내 원자력발전소 비상대응조직에 대한 검토, 3) 원자력발전소 비상대응조직의 레질리언스 기여인자 도출을 수행하였고, 이에 대한 연구내용 및 결과에 대해 기술하고 있다.

본 연구에서는 먼저 국내외 타산업분야 레질리언스 적용 사례 검토를 통하여 각 문헌 및 보고서에서 사용된 기여인자를 검토하였다. 이에 대한 결과로 총 910개의 기여인자가 검토되었다. 다음으로 국내 원자력발전소 비상대응 조직에 대한 검토를 수행하기 위해 한국의 원자력 법 중 “원자력시설 방호 등에 대한 법률”에 대한 법, 시행령, 시행규칙을 검토하였고, 이에 대한 세부 사항으로 국내 원자력발전소 규제기관인 한국원자력안전위원회에서 제안하고 있는 방사선 위기관리 매뉴얼 검토를 통하여 국내 원자력발전소 비상대응조직의 세부적인 역할, 특성 등을 검토하였다.

마지막으로 검토된 기여인자들에 대한 원자력발전소 비상대응 조직의 기여인자 도출을 위해 프로세스를 제안하였다. 이 프로세스에는 총 세 가지의 단계로 구성되어 있다. 우선 원자력 법, 시행령, 시행규칙에서 언급하고 있는지, 또는 각종 원자력발전소 문헌(안전, 안전문화, 인간 신뢰도 분석 등)에서 언급하고 있는 내용인지를 파악하여, 만약 언급되고 있는 내용일 경우, 기여인자로 사용 가능할 것으로 예상하였다. 다음 스텝으로는 HoIInageI이 제안하는 RAG 컨셉 정의를 기반으로 분류가 가능한 Factor인지를 검토하였다. 마지막으로 동일한 어원을 갖는 Factor들에 대해서 병합 및 재분류를 수행하였다. 수행된 결과로 총 56개(Level 2 21개, Items 35개)기여인자들이 제안되었다. 추가로, 향후 연구에서 필요한 설문지 작성 등 평가를 위해 제안된 원자력발전소 비상대응조직 기여인자에 대한 좋은사례 및 개선점을 도출하였다.

본 연구결과는 원자력발전소 방사선 비상시 발족 되는 비상대응조직 신뢰도평가의 척도로 이용될 수 있을 것으로 예상되며, 이는 국내 원자력발전소 비상대응조직 체계의 건전성을 평가할 수 있는 지표로 활용하여, 방사선 비상 대응 전략의 건전성 향상을 위한 기술적 근거로 사용 가능할 것으로 기대된다. 또한, 비상

대응 조직의 신뢰도는 사고 대응에서 매우 중요한 역할을 하고 있지만, 현재 규제에서는 많은 관심을 가지고 있지 않기 때문에, 향후 조직 신뢰도 평가의 방향성을 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] Hollnagel, E., Woods, D. D., & Leveson, N. (Eds.). (2007). Resilience engineering: Concepts and precepts. Ashgate Publishing, Ltd.
- [2] Woods, D.D., Leveson, N., & Hollnagel, E., (2012). Resilience Engineering: Concepts and Precepts. Ashgate Publishing, Ltd.
- [3] Leveson, N. (2004). A new accident model for engineering safer systems. *Safety science*, 42(4), 237-270.
- [4] Dekker, S., Hollnagel, E., Woods, D., & Cook, R. (2008). Resilience Engineering: New directions for measuring and maintaining safety in complex systems. *Lund University School of Aviation*, 1, 1-6.
- [5] Dijkstra, A. (2007). Resilience engineering and safety management systems in aviation. KLM Royal Dutch Airlines/TU Delft.
- [6] Leveson, N., Dulac, N., Zipkin, D., Cutcher-Gershenfeld, D., Barrett, B., & Carroll, J. (2005). Modeling, analyzing, and engineering NASA's safety culture. Phase 1 Final Report.
- [7] Hollnagel, E., Woods, D. D., & Leveson, N. (Eds.). (2006). Resilience engineering: Concepts and precepts. Ashgate Publishing, Ltd..
- [8] Park, J., Kim, J. T., Lee, S., & Kim, J. (2018). Modeling Safety-I based on unexpected reactor trips. *Annals of Nuclear Energy*, 115, 280-293.
- [9] Kim, J. T., Park, J., Kim, J., & Seong, P. H. (2018). Development of a quantitative resilience model for nuclear power plants. *Annals of Nuclear Energy*, 122, 175-184.
- [10] International Atomic Energy Agency (IAEA). (2013). Human and Organizational Factors in Nuclear Safety in the Light of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant.
- [11] Hollnagel, E. (2011). RAG-The resilience analysis grid. Resilience engineering in practice. A

- guidebook. Farnham, UK: Ashgate, 275–296.
- [12] Hollnagel, E. (2010, May). How resilient is your organisation? An introduction to the resilience analysis grid (RAG).
- [13] Salisu, I., & Hashim, N. (2017). A critical review of scales used in resilience research. *IOSR Journal of Business and Management*, 19(4), 23–33.
- [14] Pillay, M. (2018). Resilience engineering: an integrative review of fundamental concepts and directions for future research in safety management. *Open Journal of Safety Science and Technology*, 7(4), 129–160.
- [15] Lee, A. V., Vargo, J., & Seville, E. (2013). Developing a tool to measure and compare organizations' resilience. *Natural hazards review*, 14(1), 29–41.
- [16] Amir, M. T., & Standen, P. (2012). Employee resilience in organizations: Development of a new scale. In 26th Australian New Zealand Academy of Management Conference, Perth, Western Australia.
- [17] McManus, S., Seville, E., Vargo, J., & Brunsdon, D. (2008). Facilitated process for improving organizational resilience. *Natural Hazards Review*, 9(2), 81–90.
- [18] Mendonça, D., & Wallace, W. A. (2015). Factors underlying organizational resilience: The case of electric power restoration in New York City after 11 September 2001. *Reliability Engineering & System Safety*, 141, 83–91.
- [19] Salanova, M., Llorens, S., & Martínez, I. M. (2016). Contributions from positive organizational psychology to develop healthy and resilient organizations. *Papeles del Psicólogo*, 37(3), 177–184.
- [20] Hollnagel, E., & Fujita, Y. (2013). The Fukushima disaster-systemic failures as the lack of resilience. *Nuclear Engineering and Technology*, 45(1), 13–20.

- [21] Kamanja, F., & Jonghyun, K. (2014). Characterization of resilience in Nuclear Power Plants. PSAM12-Probabilistic Safety Assessment and Management, 22–27.
- [22] Gauthereau, V., & Hollnagel, E. (2005). Planning, Control, and Adaptation:: A Case Study. *European Management Journal*, 23(1), 118–131.
- [23] Shirali, G. A., Motamedzade, M., Mohammadfam, I., Ebrahimipour, V., & Moghimbeigi, A. (2016). Assessment of resilience engineering factors based on system properties in a process industry. *Cognition, Technology & Work*, 18(1), 19–31.
- [24] Azadeh, A., Salehi, V., Arvan, M., & Dolatkah, M. (2014). Assessment of resilience engineering factors in high-risk environments by fuzzy cognitive maps: A petrochemical plant. *Safety Science*, 68, 99–107.
- [25] Morales, S. N., Martínez, L. R., Gómez, J. A. H., López, R. R., & Torres-Argüelles, V. (2019). Predictors of organizational resilience by factorial analysis. *International Journal of Engineering Business Management*, 11, 1847979019837046.
- [26] Gomes, J. O., Borges, M. R., Huber, G. J., & Carvalho, P. V. R. (2014). Analysis of the resilience of team performance during a nuclear emergency response exercise. *Applied ergonomics*, 45(3), 780–788.
- [27] Kantor, F., Fox Jr, E. F., Wingert, N. R. C. V. L., & McNut, W. F. (1996). Criteria for Preparation and Evaluation of Radiological Emergency Response Plans and Preparedness in Support of Nuclear Power Plants: Criteria for Emergency Planning in an Early Site Permit Application, Draft Report for Comment. US Nuclear Regulatory Commission.
- [28] Santomauro, C. M., Kalkman, C. J., & Dekker, S. W. (2014). Second victims, organizational resilience and the role of hospital administration. *Journal of Hospital Administration*, 3(5), 95–103.
- [29] Iflaifel, M., Lim, R. H., Ryan, K., & Crowley, C. (2020). Resilient Health Care: a systematic review of conceptualisations, study methods

and factors that develop resilience. BMC health services research, 20, 1–21.

- [30] Barasa, E., Mbau, R., & Gilson, L. (2018). What is resilience and how can it be nurtured? A systematic review of empirical literature on organizational resilience. *International Journal of Health Policy and Management*, 7(6), 491.
- [31] Chuang, S., Ou, J. C., & Ma, H. P. (2020). Measurement of resilience potentials in emergency departments: Applications of a tailored resilience assessment grid. *Safety Science*, 121, 385–393.
- [32] Burch, R. (2013, November). A Method for Calculation of the Resilience of a Space System. In *MILCOM 2013–2013 IEEE Military Communications Conference* (pp. 1002–1007). IEEE.
- [33] Owen, D., Gill, S., Courtney, H., McDonald, N., Liston, P., & Carrera, M. (2017). Exploring resilience in aviation and maritime transport -and how human factors can help. *The Resilience Shift*. https://resilienceshift.org/wpcontent/uploads/2017/10/026_Exploring-Resilience-in-Aviation-and-Maritime-Transport-And-How-Human-Factors-Can-Help.pdf. Accessed October, 1, 2018.
- [34] Patriarca, R., Gravio, G. D., & Costantino, F. (2016). Resilience engineering to assess risks for the air traffic management system: A new systemic method. *International Journal of Reliability and Safety*, 10(4), 323–345.
- [35] Woltjer, R., Johansson, B. J., & Berggren, P. (2015). An overview of agility and resilience: from crisis management to aviation. In *Proceedings of the 6th Resilience Engineering Association Symposium*.
- [36] Heese, M., Kallus, W., & Kolodej, C. (2013, June). Assessing behaviour towards organizational resilience in aviation. In *5th REA Symposium managing trade offs* (pp. 67–74).
- [37] Azadeh, A., Salehi, V., & Kianpour, M. (2018). Performance evaluation

n of rail transportation systems by considering resilience engineering factors: Tehran railway electrification system. *Transportation Letters*, 10(1), 12–25.

- [38] Omer, M., Mostashari, A., & Lindemann, U. (2014, January). Resilience Analysis of Soft Infrastructure Systems. In *CSER* (pp. 565–574).
- [39] Saurin, T. A., & Junior, G. C. C. (2012). A framework for identifying and analyzing sources of resilience and brittleness: a case study of two air taxi carriers. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42(3), 312–324.
- [40] Rehak, D., Senovsky, P., Hromada, M., & Lovecek, T. (2019). Complex approach to assessing resilience of critical infrastructure elements. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 25, 125–138.
- [41] Rehak, D. (2020). Assessing and strengthening organisational resilience in a critical infrastructure system: Case study of the Slovak Republic. *Safety Science*, 123, 104573.
- [42] Francis, R., & Bekera, B. (2014). A metric and frameworks for resilience analysis of engineered and infrastructure systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 121, 90–103.
- [43] Renschler, C. S., Frazier, A. E., Arendt, L. A., Cimellaro, G. P., Reinhorn, A. M., & Bruneau, M. (2010, July). Developing the ‘PEOPLE S’ resilience framework for defining and measuring disaster resilience at the community scale. In *Proceedings of the 9th US national and 10th Canadian conference on earthquake engineering* (pp. 25–29).
- [44] Patriarca, R., Di Gravio, G., Costantino, F., Falegnami, A., & Bilotta, F. (2018). An analytic framework to assess organizational resilience. *Safety and health at work*, 9(3), 265–276.
- [45] Riolli, L., & Savicki, V. (2003). Information system organizational resilience. *Omega*, 31(3), 227–233.

- [46] Saurin, T. A., Formoso, C. T., & Cambraia, F. B. (2008). An analysis of construction safety best practices from a cognitive systems engineering perspective. *Safety science*, 46(8), 1169-1183.
- [47] Rodríguez, M., Lawson, E., & Butler, D. (2019). A study of the Resilience Analysis Grid method and its applicability to the water sector in England and Wales. *Water and Environment Journal*.
- [48] 홍성호, 서승현, & 이원호. (2020). 레질리언스 역량과 조직효과성 간의 재난관리 조직 유형의 조절효과 분석. 2. 한국방재학회 논문집, 20, 19-25.
- [49] 조광우. (2012). 국가 해수면 상승 사회 · 경제적 영향평가 2. 기본연구 보고서, 2012, 1-561.
- [50] 조성. (2019). 재난관리 공무원의 인식을 통한 재난대비활동의 효과성 분석: 지역사회 재난 레질리언스의 매개효과를 중심으로. 한국융합과학회지 (구 한국시큐리티융합경영학회지), 8(1), 188-198.
- [51] Stewart, G. T., Kolluru, R., & Smith, M. (2009). Leveraging public-private partnerships to improve community resilience in times of disaster. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.
- [52] Gonzalo, J. P. O., Lazatin, C. S., Quevedo, V. C., & Esteban, M. P. (2018, October). Mixed Methods Assessment of Organizational Resilience in Military Disaster Response. In ENCON 2018-2018 IEEE Region 10 Conference (pp. 2545-2550). IEEE.
- [53] Johns, R. D. (2016). Are We Hoping For A Bounce A Study On Resilience And Human Relations In A High Reliability Organization. NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL MONTEREY CA MONTEREY United States.
- [54] Woods, D. (2006, October). Engineering organizational resilience to enhance safety: A progress report on the emerging field of resilience engineering. In Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting (Vol. 50, No. 19, pp. 2237-2241). Sage CA: Los Angeles

les, CA: SAGE Publications.

[55] Wicker, P., Filo, K., & Cuskelly, G. (2013). Organizational resilience of community sport clubs impacted by natural disasters. *Journal of Sport Management*, 27(6), 510-525.

[56] <https://www.law.go.kr/>

[57] 원자력 안전 위원회 원전안전분야(방사능 누출) 위기관리 표준매뉴얼