

## Identification and Organization of Factors Influencing Team Decision Making by Analyzing Accidents in Complex Systems

Won-Jun Jung, Dong-Han Ham

Chonnam National University, Department of Industrial Engineering, Gwangju, 61186

### 복잡한 시스템에서의 기존 사고분석을 통한 팀 의사결정 영향요소 도출 및 조직화

정원준, 함동한

전남대학교 산업공학과

#### Corresponding Author

Dong-Han Ham  
Chonnam National University, Department of Industrial Engineering, Gwangju, 61186  
Mobile: +82-10-3417-4607  
Email : donghan.ham@gmail.com

Received : May 09, 2018

Revised : May 10, 2018

Accepted : May 20, 2018

Copyright©2018 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

© This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Objective:** The purpose of this study is to identify and organize factors that can be influential in the performance of team decision making (TDM) through analyzing previous accidents in complex systems.

**Background:** In the operation of complex socio-technical systems, it is increasingly important to enhance the performance of teamwork, particularly TDM. For this it is necessary to identify a set of factors influencing TDM. However, there is still a lack of studies that investigate TDM impact factors and propose a way of organizing them meaningfully.

**Method:** We examined 989 accidents in the three work domains (nuclear power plants, railway systems, and aviation industry). Of those, 258 accidents were considered as cases in which human errors were involved. Again, a more detailed analysis of them revealed 35 accidents to which TDM performance was critical. Based on the analysis of those 35 accidents, we identified 88 TDM impact factors and classified them into 13 groups.

**Results:** Seventy-two factors influencing TDM were identified and categorized into 13 groups that are meaningful to more comprehensive study of TDM process.

**Conclusion:** We derived 88 factors that could influence the performance of TDM through accident analysis in the three work domains and classified them into 13 groups as well.

**Application:** The identified TDM impact factors can be a useful input data for assessing team reliability in complex systems and offer a theoretical basis for understanding TDM more comprehensively.

**Keywords:** Team decision making, Team performance, Teamwork, Performance shaping factors, Accident analysis

## 1. Introduction

원자력발전소, 항공관제시스템, 헬스케어 시스템, 지능형 교통시스템과 같은 복잡한 사회-기술적 시스템(Complex Socio-Technical Systems)에서의 팀 인지적 작업수행도의 중요성이 점점 높아지고 있다(Nam and Thomas, 2006; Salas et al., 2008). 이러한 시스템들의 대규모화, 복잡화 및 지능화라는 특성으로 인해 시스템의 생산성 및 안전성에 직결된 많은 인지적 작업들이 점점 개인 혼자 수행하기에는 점점 더 어려워지고 있다는 사실로부터도 쉽게 이해할 수 있는 부분이다(Salas et al., 2009). 일례로 원자력발전소 주제어실에서 이루어지는 발전팀장을 중심으로 한 5인의 팀 작업과정 및 병원의 중환자실에서 여러 전문의들로 구성된 팀 단위의 수술작업을 생각해볼 수 있다. 각 팀원이 개별적으로 각자의 주어진 역할을 수행하기 위해 다양한 인지활동(정보획득, 상황인식 및 판단, 의사결정, 행동계획, 기기조작 등)을 수행한다. 그런데 이러한 개별적 인지활동은 그 자체도 중요하지만 그 활동의 의미는 팀 단위의 인지활동 내지는 팀의 사결정을 위해 이루어지는 맥락의 관점에서 이해할 때 더 체계적으로 이해될 수 있다(Cooke et al., 2013; Keus, 2002). 그런데 팀 인지활동은 개인의 인지활동의 단순 합으로는 이해할 수 없는 시스템적 특성을 지니고 있다(Salas and Fiore, 2004). 이러한 이유로 팀 단위의 인지활동 및 팀 의사결정을 과학적으로 분석하고 이러한 활동의 수행도를 향상시킬 수 있는 다양한 방안을 마련하는 것이 인지시스템공학 분야의 주요 연구 주제로 부각되고 있다(Kontogiannis and Malakis, 2018; Palmqvist et al., 2012).

인지시스템공학 관점에서의 팀은 인지적 능력을 가지면서 상호의존적인 구성원들이 공통된 목표를 달성하기 위해 모인 하나의 의사결정 집합체로 정의될 수 있다(Cooke, 2015). 현재까지 팀의 작업수행도(특히 인지적 작업수행도)에 관한 다양한 형태의 연구가 이루어져 왔다(Brannick et al., 1997; Paris et al., 2000; Salas et al., 2008; Salas et al., 2012; Salas et al., 2015; Salas et al., 2017). 구체적으로 이러한 연구는 다음을 포함한다: 팀 인지활동 연구를 위한 이론적 개념 정립, 팀의 인지모형 및 의사결정 모형 개발, 팀 인지적 작업의 분석방법, 팀원들 간의 공유된 인지(shared cognition) 및 팀 훈련(team training)과 팀 작업수행도와와의 상관관계, 팀 인지활동 수행도의 평가 및 측정방법 및 척도 개발, 팀 의사결정(TDM: Team Decision Making)에 영향을 주는 요소들의 파악. 그런데 이 중에서 팀의 인지적 작업수행도에 영향을 줄 수 있는 다양한 요소들의 파악은 모든 팀 인지활동 관련 연구의 기본이라 할 수 있다(Salas et al., 2008). 팀의 세부적인 인지활동이 궁극적으로는 팀의 의사결정을 위해 이루어진다는 점을 고려할 때 팀 의사결정 수행도에 영향을 줄 수 있는 요소의 체계적인 분석이 가장 기본적인 연구 주제 중의 하나라고 할 수 있다(Dinh and Salas, 2017). 또한 이러한 이유로 본 연구에서는 큰 차이 없이 세 용어(팀 의사결정 수행도, 팀 인지적 작업수행도 및 팀 수행도)를 같은 의미로 혼용해 사용한다.

팀 의사결정 영향요소에 관한 지금까지의 연구들은 다양한 요소를 도출해왔고 이 요소들을 활용해 시스템 및 작업 개선을 위해 유용하게 활용할 수 있도록 여러 관점에서 이 요소들을 분류해왔다(Salas et al., 2017). 그러나 대부분의 팀 의사결정 영향요소 연구들은 두 가지 관점에서 보완될 필요가 있다. 첫 번째는 연구방법론적인 관점에서 현재까지의 관련 연구들은 대부분 인지심리학 및 행동과학 분야의 이론 및 모형을 바탕으로 연역적 내지는 하향식으로 요소들을 도출하고 그 타당성을 실험적으로 검증하는 방식의 연구방법을 활용해왔다(Salas et al., 2008). 이는 실제 팀 의사결정이 중요했던 실제 사례를 활용해 상향식으로 요소를 도출하고 조직화하는 연구방법으로 관련 연구를 보완할 필요가 있음을 의미한다. 두 번째로 팀 의사결정이 특히 더 중요할 것으로 판단되는 안전 중시 시스템(Safety-Critical Systems)의 긴급 상황(예: 원자력발전소 운영에서의 중대사고)이나 극한 상황에서의 팀 의사결정에 영향을 미치는 요소에 대한 연구는 상대적으로 적다는 점이다(Kohda et al., 1996; Vessey and Landon, 2017). 이러한 상황에서의 팀 의사결정 영향요소는 위험성 평가(Risk Assessment) 및 인간신뢰도분석(HRA: Human Reliability Analysis) 분야에서 점점 중요해지고 있는 팀 수준의 신뢰도분석 연구에 중요한 기초 자료를 제공해줄 것으로 판단되기에 이에 대한 연구의 중요성은 함께 높아질 것으로 예상된다(Kohda et al., 1996; Park et al., 2016). 그런데 이러한 상황에서의 팀 의사결정 영향요소를 모의실험이나 관측을 통해 도출하는 것은 현실적으로 많은 제약이 따르기에 다른 방법을 모색할 필요가 있다.

이러한 문제의식을 갖고 본 연구는 원자력발전소, 철도시스템 및 항공산업의 세 영역에서 현재까지 발생한 안전사고 보고서를 조사해서 인적오류 및 팀 의사결정이 관련되어 있었던 사고를 중심으로 팀 의사결정에 영향을 미치는 요소를 도출하고 이를 조직화하는 방안을 마련하는 것을 목표로 한다. 본 논문에서는 우선적으로 2장에서 팀 인지적 작업 및 의사결정 영향요소에 관한 문헌분석 결과를 요약하고 3장에서 사고분석 보고서에 기초한 팀 의사결정 영향요소 도출 및 조직화 과정을 설명한다. 4장에서는 도출된 팀 의사결정 영향요소와 기존의 문헌들에서 언급된 요소들과의 비교 검토 결과를 정리한다.

## 2. Research Background

일반적으로 팀은 지정된 목표와 공유 목표를 달성하기 위해 함께 일하는 두 명 이상의 개인으로 정의되며, 작업별 역량 및 특수 작업 역할을 가지며, 공유 리소스를 사용하고, 변화에 대한 적응 및 적응을 위해 의사소통한다고 말한다(Dyer, 1984). 팀은 항공, 국방, 의료, 금융, 원자력발전 등 수많은 분야에서 사용되고 있다. 팀은 조직이 복잡하고 어려운 과업에 직면할 때 선택적 전략이며, 작업장의 복잡성이 커질수록 조직은 팀에 더 의존하게 된다. 팀은 보통 계층적으로 구성되며 때로는 지리적으로 분산되고 있고, 정보를 통합, 종합, 공유해야 하며, 변화되는 작업요구에 따라 조정하고 협력할 필요가 있다(Salas et al., 2008). 또한 팀 단위의 업무수행을 위해서는 팀 구성원들 간의 상호작용(팀워크)과 업무수행 과정, 팀 인지 및 성과(수행도)를 함께 고려해야 한다.

팀워크는 여러 가지의 개인적 성과를 효과적으로 조정함에 있어 필요한 상호의존적인 구성요소로 정의할 수 있으며, 팀 수행도는 팀 구성원이 개인 및 개인 및 팀 차원의 작업 및 팀워크 프로세스를 관리할 때 발생하는 다단계 프로세스로 개념화할 수 있다(Kozlowski and Klein, 2000). 팀 인지는 팀 프로세스 간의 상호관계 유형의 예이며, 공유된 팀 인지는 팀 수행도에 있어 중요한 원동력이라고 할 수 있다(Salas and Fiore, 2004). 또한 공유된 팀 인지는 팀이 다양한 업무 조건 하에서 어떻게 프로세스를 적응시키고 환경 단서를 해석하고, 의사결정을 내리며 조정하는 방식을 이해하는 이론적 근거이다(Entin and Serfaty, 1999).

Kozlowski and Ilgen (2006)의 연구에 따르면 팀은 팀 작업이 요구하는 것보다 더 넓은 시스템 상황과 업무환경을 고려해야 한다. 즉, 환경과 팀 구성원에게 가해지는 부하에 의해 나타나는 문제 또는 상황을 해결해야 한다는 것이며, 팀 의사결정에 영향을 주는 요소들이 단순히 팀이나 구성원 등의 영역뿐만 아니라 조직, 환경 등과 같은 다양한 영역에서도 나타날 수 있다는 것을 의미한다. 본 논문에서는 복잡한 시스템에서의 팀 의사결정 영향요소 연구에 도움이 될 수 있는 대표적인 문헌을 Table 1과 같이 정리하였다.

**Table 1.** Summary of previous studies on team decision making and its related areas

Literature	Topic	Factors
Salas et al., 2015	Teamwork	Core processes and emergent states (Cooperation, conflict, coordination, communication, leadership/coaching, cognition) Influencing conditions (Composition, context, culture)
Manser, 2009		Quality of collaboration Shared mental model Coordination Communication Leadership
Cooke, 2015	Team cognition	Team knowledge (of the task and of the team) Team process (Coordination, communication, team situation assessment, expert judgement of process)
Cooke et al., 2004		Individual team member level (Knowledge, constructs, shared mental models, team situation awareness) Team level (Communication, team cognition)
Keus, 2002	Team decision making	Operational context factors (Shifting or ill-defined goals, time constraints, uncertain dynamic environments) Human factors (Workloads, team communication, skills, training level, internal knowledge, cognitive ability, adaptive capabilities, etc.) Organizational factors (Team structure, authorization constrains, required procedures, organizational hierarchy, etc.) Information factors

**Table 1.** Summary of previous studies on team decision making and its related areas (Continued)

Literature	Topic	Factors
Oser et al., 1999	Team decision making	Information processing skills (Encoding, storage, retrieval) Situation awareness (Cue recognition, template recognition) Problem solving skills (Domain specific skills) Monitoring (Detecting faults, metacognition)
Rothrock et al., 2009	Team performance	Information exchange Communication Team initiative/leadership Support behavior
Andersson et al., 2017		Effective teamwork Well-coordinated team efforts Clear/efficient communication Workload
Kim et al., 2003	Emergency situation	Training and experience Availability and quality of procedures Simultaneous goals/tasks Task type/attributes Availability and quality of information Status and trend of critical parameters Status of safety system/component Time pressure Working environmental feature Team coordination and communication Plant policy and safety culture
Flin et al., 2003	CRM (Crew Resource Management)	Cooperation (Team-building and maintaining, considering others, support others, conflict solving) Leadership and managerial skills (Use of authority and assertiveness, providing and maintaining standards, planning and coordination, workload management) Situation awareness (Awareness of aircraft systems, awareness of external environment, awareness time) Decision making (Problem definition and diagnosis, option generation, risk assessment and option selection, outcome review)
ICAO, 2005	TEM (Threat and Error Management)	Team climate (Communication environment, leadership, overall team performance) Planning (Briefing, plans stated, contingency management) Execution (Monitor/cross-check, workload management, automation management, flight strip management) Review/modify (Evaluation of plans, inquiry)

Table 1에 정리된 요소 목록에서 연구의 범위나 분석대상 및 조건에 따라 영향을 미치는 요소들이 다르며, 같은 요소라도 그 의미가 상이하다는 것을 확인할 수 있다. Salas et al. (2015)는 언어적인 의사소통뿐만 아니라 정보를 주고받는 행위 등을 의사소통으로 간주하였다. 그러나 Rothrock et al. (2009), Keus (2002), Kim et al. (2003)의 경우 정보와 관련된 요소를 하나의 독립적인 영향요소로 고려하였다. 단순히 정보교환을 의미하는 것이 아니라 정보의 검색과 획득 등의 행위와 더불어 정확성, 명확성, 완전성 등과 같은 정보가 갖는 특성을 함께 고려한다. 또한 Andersson et al. (2017)은 의사소통을 명확/효과적(Clear/Efficient)이라는 두 가지 요소로 나누어 설명하고 있다.

반면 비슷한 의미를 갖고 있으나, 연구에 따라 정의되는 용어가 약간씩 다른 경우도 있다. 이러한 경우 특정 요소 혹은 이를 포괄할 수 있는 요소로 종합할 수 있는데, 예를 들어 Rothrock et al. (2009)는 정보교환(Information exchange)을 정보 수집하고 교환 및 공유하는 행위로 정의하고 있으며, Kim et al. (2003)은 정보의 가용성 및 품질(Availability and quality of procedures)로 의미가 명확하고 구별할 수 있으며 이를 나타내주는 디스플레이에 대한 제어를 말한다. 이러한 요소들은 Keus (2002)의 정보 요인(Information factors)이라는 요소 하나로 설명할 수 있다.

또한 요소를 바라보는 관점에서 어떤 연구자는 특정 항목을 요소로 보는 반면에 어떤 연구자는 그 보다는 상위 수준의 개념으로 간주한다. Table 1에서 이에 해당하는 개념이 팀워크이다. Andersson et al. (2017)은 팀 수행도에 영향을 미치는 요소 중 하나로 효과적인 팀워크(Effective teamwork)를 언급한다. 그런데 Table 1에서 볼 수 있듯이 Salas et al. (2015)와 Manser (2009)는 팀워크에 관한 연구를 통해 보다 상세한 팀워크에 영향을 미치는 요소들을 정리하고 있다.

이러한 과정들을 통해 Table 1에 나열된 팀 의사결정 영향요소를 17개의 요소로 재구성할 수 있었다(Table 2). 이러한 재구성 과정은 관련 분야 연구자 3인이 table-top 분석을 통해 수행하였다. 17개의 대표 요소들은 다시 조직적 요소(Organizational factor), 팀 요소(Team factor), 개인적 요소(Individual factor), 외부적 요소(External factor)의 4개의 범주로 그룹화시킬 수 있다.

**Table 2.** Summary of factors influencing team decision making

Category	Factors	Example
Organizational factor	Culture	Culture, safety culture
Team factor	Cognition	Team cognition, shifting defined goals, shared mental model, simultaneous goals/tasks
	Communication	Communication, team communication, clear communication, efficient communication
	Composition	Team members, team structure, authorization constraints, organizational hierarchy
	Conflict	Conflict
	Cooperation	Cooperation, quality of collaboration
	Coordination	Coordination, team coordination, workload, well-coordinated team efforts
	Information factors	Information exchange, collection, availability and quality of information, encoding, storage, retrieval
	Leadership	Leadership, expert judgment, initiative leadership, problem definition and diagnosis, option generation, risk assessment and option selection, outcome review, management
	Procedure	Required procedures, availability and quality of procedures
	Support behavior	Support behavior, support others
Individual factor	Adaptability	Adaptive capabilities, domain specific skills
	Knowledge	Team knowledge, task knowledge, task type/attributes, internal knowledge
	Monitoring	Detecting faults, metacognition, situation awareness, monitor/cross-check
	Training	Training level, experience, skill
External factors	Context	Uncertain dynamic environment, working environment feature, critical parameters, policy
	Time constraints	Time constraints, time pressure

### 3. Method and Results

1절에서 기술했듯이 실제의 사례를 기반으로 팀 의사결정 영향요소를 파악한 연구는 상대적으로 많지 않은 상황이다. 특히 안전이 중시되는 복잡한 시스템 상황에서의 사례를 기반으로 진행된 연구는 더 적다 할 수 있다. 이런 문제의식을 갖고 본 연구는 실제 사고에 관한 분석 자료를 활용해서 팀 의사결정 영향요소를 도출하고 조직화하고자 하였다. 본 절에서는 이러한 과정을 설명한다.

#### 3.1 Collection and analysis of accident reports

분석을 위하여 항공, 철도, 원자력발전 등의 산업에서 발생한 사고 자료를 수집하였다. 그 중 사고 개요 및 원인분석 등으로 구성된 사고보고서를 기준으로 선별하였으며 이를 중심으로 분석을 진행하였다. 원자력발전의 경우 원자력안전정보센터와 원자력안전운영정보시스템(OPIS)에서 사고보고서를 수집하였으나, 자료의 중복으로 인하여 OPIS의 자료를 중심으로 진행하였으며, 철도 및 항공은 국토교통부의 항공철도조사위원회 자료를 기반으로 분석하였다. 수집된 사고들 가운데 사건보고서에 분석된 사고원인을 기반으로 인적오류와 관련되어 있는 사고를 일차적으로 선별하였고, 사고와 직접적으로 관련된 인원수에 따라 팀 의사결정이나 팀 작업수행도와 관련된 사고를 선별해 조사하였다(Table 3).

**Table 3.** Gathering and analyzing accident reports

Work domain	Source	Number of accidents	Number of accidents related to human factors	Number of accidents associated with TDM
Nuclear power plant	Korea institute of nuclear safety	696	135	8
	Operational performance information systems for nuclear power plant	726		
Railway	Aviation and railway accident investigation board	87	37	17
Aviation		176	86	10

사고분석 결과 단순한 기술 및 기계적 요인으로 발생한 사고가 아닌 인적오류에 의해 팀 단위로 발생한 사고는 35건으로 나타났다. 이 35건을 집중 분석한 결과 팀 의사결정 영향요소로 고려될 수 있는 항목을 총 123개 확인할 수 있었다. 이 123개의 항목 가운데 중복되거나 의미가 같은 단어(의사소통, 의사전달 등)를 하나의 요소로 바꾸는 과정을 통해, 최종적으로 88개의 영향요소를 도출하였다.

#### 3.2 Identification and organization of TDM impact factors

사고분석을 통해 도출된 88개의 요소들은 영향을 미치는 영역 또는 특징, 유사성에 따라 분류 및 조직화할 수 있다. 예를 들어 의사소통 미흡, 일방적인 의사소통, 부적절한 의사소통 등의 요소들은 의사소통이라는 공통된 내용을 포함하고 있기 때문에 같은 그룹으로 생각할 수 있으며, 보고 또는 통보 등의 요소들은 의사소통의 일부이기 때문에 같은 그룹으로 분류할 수 있다. 이와 같은 과정을 통해 88개의 팀 의사결정 영향요소를 13개의 그룹으로 조직화하고 그에 해당하는 세부 영향요소 및 빈도수를 확인할 수 있었다(Table 4).

**Table 4.** Identified 88 TDM impactor factors and 13 factor groups

Group	Factors	Frequency	Work domain
Leadership	Incorrect work order	1	Aviation
	(Leader's) Incorrect judgment	1	Aviation

**Table 4.** Identified 88 TDM impactor factors and 13 factor groups (Continued)

Group	Factors	Frequency	Work domain
Leadership	Inflexible decision making	1	Aviation
	Inflexible work order	1	Aviation
	Not anticipating situations	1	Aviation
	Unskillful judgment	1	Aviation
	Judgment error	1	Aviation
	Incorrect situation assessment	1	Railway
	(Leader's) Mistake	1	Nuclear
Monitoring	Ignorance of checking	5	Aviation, Railway
	Failure to do a continuous check	1	Aviation
	Insufficient supervision	2	Aviation, Railway
	Not recognizing situation	1	Aviation
	Being impossible to check state	1	Railway
	Inappropriate state identification	1	Nuclear
	Not checking state	1	Nuclear
	Failure to discriminate something	1	Aviation
	Erroneous recognition	1	Railway
	Poor recognition	1	Railway
	Incorrect recognition	1	Nuclear
Information factors	Not checking information	1	Aviation
	Inattentive examination of (risk) factors	1	Aviation
	Non-delivery of information	2	Aviation
	Not sharing plans	1	Aviation
	Not offering information	4	Aviation, Railway
	Not exchanging information	1	Railway
	Insufficient sharing of information	1	Railway
	Incorrect information	1	Railway
Poor exchange of information	1	Nuclear	
Culture	Safety culture	1	Nuclear
Time constraints	Inappropriate manipulation time	1	Aviation
	Not conducting an order at the right time	1	Railway
	Delayed action	1	Nuclear
Communication	Not briefing	1	Aviation
	Poor communication	2	Aviation, Nuclear
	Use of inappropriate words	1	Aviation

**Table 4.** Identified 88 TDM impactor factors and 13 factor groups (Continued)

Group	Factors	Frequency	Work domain
Communication	Not notifying	7	Railway
	Poor responding	1	Railway
	Insufficient communication	1	Railway
	Not communicating	1	Railway
	Confused communication	1	Railway
	Not issuing an order	1	Railway
	Not delivering an order	1	Railway
	Not delivering instruction	1	Railway
	Noisy communication	1	Railway
	Not reporting	2	Railway, Nuclear
	Unclear communication	1	Railway
	One-sided communication	1	Railway
	Inappropriate communication	2	Nuclear
	Problematic communication	1	Nuclear
	Problematic communication system	1	Nuclear
Procedures	Inappropriate manipulation	1	Aviation
	Not following rules	3	Aviation, Railway
	Not manipulating something	1	Aviation
	Arbitrary judgment	3	Railway, Nuclear
	Not acting something	2	Railway
	Arbitrary change	2	Railway
	Arbitrary manipulation	1	Railway
	Neglecting a duty	1	Railway
	Not following an order	1	Railway
	Insufficient procedures	2	Nuclear
	Inappropriate procedures	1	Nuclear
	Being unable to choose manipulation method	1	Aviation
	Insufficient coping with situation	1	Railway
	Insufficient follow-up measures	1	Railway
	Inappropriate coping with situation	1	Railway
Coordination	Erroneous manipulation	1	Nuclear
	Incomplete coping with situation	1	Railway
	Insufficient allocation of roles	1	Aviation
	Dualistic role allocation	1	Railway



**Table 4.** Identified 88 TDM impactor factors and 13 factor groups (Continued)

Group	Factors	Frequency	Work domain
Coordination	Confused workflows	1	Railway
	Overlapped works	1	Nuclear
Attention	Insufficient attentional resources	3	Aviation, Nuclear
	Carelessness	2	Aviation, Railway
	Forgetting to check states	1	Railway
	Mistake	3	Aviation, Railway
	Lapse	2	Railway
Knowledge	Insufficient understanding of rules	1	Railway
	Erroneous understanding of structure	1	Nuclear
	Poor understanding	2	Nuclear, Railway
Support behavior	Insufficient guidance	2	Aviation
	Leading incorrect judgment	1	Railway
Cooperation	Lack of cooperation	2	Railway, Nuclear
	Problematic cooperation system	1	Nuclear
Training	Insufficient training	2	Railway, Nuclear
	Low experience	2	Nuclear
	Unfamiliarity with works	1	Railway, Nuclear

본 연구에서 정의한 Table 4의 13개 요소그룹의 의미를 아래와 같이 설명할 수 있다. 각 요소그룹을 설명하면서 이와 관련 있는 기존의 선행연구를 같이 인용하였다.

#### 그룹-1: 리더십(Leadership)

리더십은 팀 목표를 설정하고 성공적인 결과를 도출하기 위한 방향을 세우고 팀 구성원들을 이끄는 행위이다(Fleishman et al., 1991). 팀 구성원이나 다른 팀으로부터 수집된 정보를 해석하고, 상황을 판단하며, 올바른 결정 및 지시를 내려야 한다. 또한 리더십의 유형이나 유연성에 따라 팀 구성원의 만족도나 결과가 달라진다(Manser, 2009).

#### 그룹-2: 모니터링(Monitoring)

모니터링은 팀 구성원이 올바른 작업을 하는지에 대한 감시 및 확인, 상황 변화를 관찰하고 인식하는 것을 의미한다(ICAO, 2005; Flin et al., 2003). 시스템을 효과적으로 모니터링하기 위해서는 정상적인 시스템 상태와 잠재적인 시스템 상태에 대해 잘 알고 있어야 하며(Oser et al., 1999) 작업을 수행하는 동안 지속적으로 이루어져야 한다. 모니터링을 통하여 잠재적인 문제가 확대되기 전에 해결할 수 있도록 하는 것이 중요하지만(Flin et al., 2003) 모니터링이 제대로 이루어지지 않으면 작업에서 나타나는 문제나 급변하는 상황에 대한 대응이 제대로 이루어지지 않을 가능성이 높고, 이로 인해 부정적 결과를 초래할 수 있다.

#### 그룹-3: 정보 요인(Information factors)

정보 요인을 정보 전달 및 공유의 관점에서 생각할 경우 의사소통과의 명확한 구별이 어렵다. 하지만 정보의 전달이나 공유하는 행위 뿐만 아니라 정보를 받는 사람에게 유용하고 필요한 정보를 검색, 선별 또는 변환하는 과정을 거쳐 제공하는 것을 의미하며, 의사결정에 있어서 중요한 역할을 한다(Rothrock et al., 2009; Kim et al., 2003; Oser et al., 1999). 불필요하거나 부적절한 정보는 혼란이나 착각

등을 유발하기 때문에 정보를 받는 사람도 정보에 대한 유용성을 판단해야 한다. 정보 요인과 관련한 문제로 인해 의사결정 프로세스 자체가 오작동 할 수 있으며, 판단 오류 및 잘못된 결정이 발생할 수 있다(Keus, 2002).

#### 그룹-4: 문화(Culture)

문화는 조직이나 집단, 팀 구성원들이 공통으로 갖는 가치나 신념이라 할 수 있다. 문화는 직접적으로 결과에 영향을 미치지 않지만 결과를 위해 필요한 팀의 목표나 가치관, 우선순위 등에 영향을 미치며, 이로 인해 팀 의사결정의 성과가 달라질 수 있다. 이를 향상시키기 위해 전향적인 팀 가치를 조성하고 각자의 의견과 관심사를 쉽게 말할 수 있는 문화가 조성되어야 하며, 다름을 존중하는 문화의 조성이 필요하다(Kim et al., 2003; Park, 2017; Salas et al., 2015).

#### 그룹-5: 시간제약(Time constraints)

팀 의사결정이 이루어지는 과정마다 정해진 시간이 있다. 따라서 이를 위한 작업이나 절차에는 시간적 제약이 존재하고, 이러한 제약으로 인한 압박 및 스트레스에 의해 작업 또는 절차가 누락되거나 생략되는 경우가 많다. 또한 정해진 시간 내에 행해져야 하는 것뿐만 아니라 적시에 반드시 행해져야 하는 절차나 작업들도 시간적 제약을 받는다고 할 수 있다. 급박한 상황에서 의사결정을 내려야 하는 경우 시간제약은 고려해야 하는 핵심요소 중 하나이다. 시간압박(제약)은 작업부하와 밀접한 연관성을 갖고 있으며, 시간압박이 증가할수록 팀 의사결정의 신뢰성이 떨어진다(Adelman et al., 1986; Paris et al., 2000).

#### 그룹-6: 의사소통(Communication)

의사소통은 개인 혹은 팀끼리의 상호작용을 의미하며(Salas et al., 2015), 음성이나 문자와 같은 언어적 요소와 몸짓이나 수신호와 같은 비언어적 요소를 포함한다. 충분한 의사교환 및 소통이 없으면 정보를 전달하는 과정에서 발생할 수 있는 결함으로 인하여 아차사고 또는 사고로 파급될 가능성이 높다(Chung, 2011; Heo and Byun, 2013; Oh and Lee, 2011). 기본적으로 의사소통은 양방향으로 이루어지거나 상황에 따라 보고 또는 통보와 같은 일방적 의사소통이 이루어지기도 한다. 통신수단의 상태 및 사용하는 용어, 목적이나 의도에 따라 의사소통이 원활하게 이루어지지 않을 수 있다.

#### 그룹-7: 절차(Procedures)

성공적인 결과를 얻기 위해서는 반드시 행해져야 하는 과정들이 있다. 절차는 이러한 과정이 성공적으로 완료될 수 있는 규정이나 조작 및 조치, 우선순위 등을 의미하고, 상황 변화에 따라 달라지는 지시사항들도 포함한다. 효율성이나 귀찮음을 이유로 절차를 무시하고 생략하거나 임의로 변경하고 판단할 경우 예상치 못한 문제들이 발생할 수 있으며, 복잡한 시스템일수록 작업을 수행하는 과정에 있어서 필수적인 절차들이 반드시 행해져야 한다(Keus, 2002).

#### 그룹-8: 조정(Coordination)

조정은 한정된 자원이나 인원을 작업에 맞춰 분배하거나 작업을 팀 구성원에게 할당하는 행위를 의미하며, 팀 성과에 대한 주요 원동력이다(Salas et al., 2015). 서로 다른 팀 구성원이 상호의존적으로 여러 작업을 동시에 수행하기 때문에 잘못된 조정은 팀 구성원들 간의 갈등을 조성할 수 있으며, 과도한 작업 부하 및 업무의 중복 등을 유발한다(Manser, 2009). 작업량 분포와 팀 성과는 부정적 관계가 있으며, 과부하 된 팀 구성원은 팀 성과에 부정적 영향을 미친다(Andersson et al., 2017).

#### 그룹-9: 주의집중(Attention)

주의집중은 어떠한 작업이나 행위를 할 때 반드시 필요한 요소이다. 작업에 대한 부담감이나 피로 등과 같은 개인적 요인과 시간적 압박 또는 급격한 상황 변화와 같은 외부적 요인으로 인해 주의력이 감소할 수 있으며, 착각이나 작업의 망각을 유발해 원활한 작업 수행을 방해한다.

#### 그룹-10: 지식(Knowledge)

지식은 팀 또는 작업의 유형이나 특성을 얼마나 잘 파악하고 이해하는지를 말하는 개인 수준의 영향요소이며(Cooke et al., 2007), 인지나 조정과 같은 요소들이 효과적으로 이루어지기 위해서는 팀 또는 작업에 대한 지식 수준이 중요하다(Cooke, 2015; Salas et al., 2015). 또한 지식의 수준에 따라 작업의 효율성 및 결과의 질이 달라지며, 이는 훈련을 통해 향상시킬 수 있다.

그룹-11: 지원행위(Support behavior)

지원행위는 작업이 올바르게 진행되도록 도와주거나, 부담 및 스트레스를 줄여주는 행위 및 도구로 조언이나 충고, 지침서 등이 이에 해당한다. 이러한 지원활동은 더 적은 스트레스나 활동으로도 상황판단 및 작업수행을 가능하게 하며 올바른 의사결정에 도움을 준다 (Rothrock et al., 2009). 지원행위가 미흡하거나 행위 자체가 잘못된다면, 이는 즉각적인 실패를 유발하거나, 더 복잡한 상황을 초래한다.

그룹-12: 협력(Cooperation)

협력은 팀 단위의 업무에 있어서 가장 기본적인 요소로 하나의 과업에 있어 각기 다른 개인 혹은 팀과 함께 작업을 하는 과정이 잘 이루어졌는지에 대한 유무이며, 협력에 대한 의지, 태도 등을 포함한다(Salas et al., 2015). 협력을 위해서는 공통된 목표 및 작업에 대한 역할이 필요하기 때문에 리더십, 조정, 의사소통 등의 요소들이 필수적이며, 협력의 질을 높이기 위해서는 함께 작업하는 사람들과 상호존중과 믿음이 필요하다(Manser, 2009).

그룹-13: 훈련(Training)

훈련은 상황에 대한 훈련 및 경험, 교육 등을 통해 미리 학습함으로써 실제 상황에 대한 대응력과 성과를 높이는 행위를 말한다. 가상의 작업 및 상황에 대한 훈련을 통해 해당 영역의 지식의 향상에 도움이 될 뿐만 아니라 한정된 자원에서 더 높은 성과를 기대할 수 있다. 또한 팀 조정이나 효과적인 성과 향상을 위해 사용된 지식, 기술, 전략 등의 파악을 통해 팀을 훈련시키면 스트레스가 많은 상황에서도 성과가 향상될 수 있다(Paris et al., 2000).

3.3 Comparative analysis of TDM impact factors

사고분석을 통해 도출한 팀 의사결정 영향요소들로부터 분류된 13개의 요소그룹(Table 4)과 기존 문헌분석을 통해 정리한 17개의 영향요소(Table 3)를 비교하면 Table 5와 같다. 비교 결과 12개의 영향요소가 공통적으로 나타남을 알 수 있었으며 주의집중은 사고분석을 통해서만 파악되었다. 한편 문헌분석을 통해 파악되었던 5개의 영향요소들은 사고분석을 통해서 나타내지 않았다(Table 5).

Table 5. Comparison of TDM impact factors

Common factors	Factors identified only in literature review	Factors identified only in accident analysis
Culture Communication Cooperation Coordination Information factors Leadership Procedure Support behavior Knowledge Monitoring Training Time constraints	Cognition Composition Conflict Context Adaptability	Attention

Table 5에서 정리된 팀 의사결정 영향요소 중에서 문헌분석 결과로만 파악된 5개의 영향요소의 구체적 의미는 설명하면 다음과 같다.

영향요소1: 인지(Cognition)

인지는 팀 구성원들이 상호작용을 통해 공통으로 이해하고 인지하는 목표, 멘탈모델 등을 의미하며, 효과적인 팀 프로세스의 기초 역할을 한다(Salas et al., 2015). 팀 인지가 잘 형성되지 않으면 팀 성과가 저하되고 부정적인 결과를 초래할 수 있다(Dinh and Salas, 2017).

**영향요소2: 구성(Composition)**

구성은 팀을 구성할 때 고려해야 하는 것들을 의미하며, 팀의 크기 및 역할 등뿐만 아니라 나이, 성별, 지식 수준, 성격과 같은 개인적인 특성 또한 고려해야 한다(Paris et al., 2000; Salas et al., 2015). 팀 구성원에 따라 조정 및 의사소통 프로세스에 영향을 미치며, 궁극적으로 팀 성과의 결과가 달라질 수 있다(Salas et al., 2008).

**영향요소3: 갈등(Conflict)**

갈등은 의사결정에 있어서 팀 구성원들 간의 흥미, 믿음 혹은 관점이 일치하지 못하고 충돌하는 것을 의미한다(Salas et al., 2015). 일반적으로 갈등은 다른 구성원들의 행동으로 인해 자원이거나 처리가 부족하다는 인식 때문에 발생하며, 작업 기반(작업수행과 관련하여 관점이 다른 경우) 또는 관계 기반(대인관계에서 발생하는 차이로 인해 발생하는 짜증이나 긴장감)으로 나타난다(Dinh and Salas, 2017).

**영향요소4: 상황에 대한 적응력(Adaptability)**

상황에 대한 적응력은 변화하는 상황이나 작업에 대해 적응하고 받아들이며 이를 해결하는 것을 의미한다. 상황에 대한 적응력은 조정이나 리더십과 같은 다른 요소에서도 영향을 미치는 것을 확인할 수 있으며(Manser, 2009), 훈련을 통해 상황에 대한 예측과 적응력을 향상시킬 수 있다.

**영향요소5: 맥락적 요소(Context)**

맥락적 요소는 의사결정을 하는 과정에 대한 상황적 특성이나 사건을 의미하며(Johns, 2006; Salas et al., 2015), 권한이나 정책과 같은 제약조건, 불확실하고 동적인 환경, 작업 목표 변경 등을 포함한다(Keus, 2002; Kim et al., 2003). 상황 및 환경의 특성에 따라 의사결정에 영향을 미치는 요소들이 달라지기도 한다(Manser, 2009).

## 4. Conclusion

본 연구는 복잡한 시스템에서 발생한 기존의 사고분석을 통해 팀 의사결정에 영향을 줄 수 있는 요소들을 파악하고 구조화하였다. 이를 위해 원자력산업, 철도시스템 및 항공분야의 세 분야에 걸친 사고분석을 통해 총 88개의 팀 의사결정 영향요소를 도출할 수 있었다. 또한 이 88개의 영향요소를 조직화하여 13개의 요소그룹으로 정의하였다. 이 분석 결과를 기존의 문헌분석 통해 정리한 17개의 영향요소와 비교 검토하였다. 본 연구는 실제 팀 단위의 의사결정을 내리는 산업현장에서 발생한 사고를 기반으로 팀 의사결정 영향요소를 도출하였다는 점에서 팀 의사결정 및 관련된 연구분야에 보다 실증적인 기초 자료를 제공해준다는 점에서 의의를 찾을 수 있다. 팀 의사결정 영향요소의 도출 및 조직화는 다양한 분야나 문제에 활용될 수 있다. 예로 중대사고 상황에서의 팀 신뢰도분석에서의 수행도 영향인자 결정에 중요한 단서를 제공할 수 있다. 또한 팀 의사결정 및 팀 수행도 향상을 위한 시스템 설계(예: 훈련시스템 개발을 위한 시나리오 및 훈련방법 개발, 인간-시스템 인터페이스 개발, 정보지원 등)에 기본적인 정보를 제공해줄 수 있다. 이러한 적용분야 관점에서도 본 연구의 의의를 찾을 수 있다.

본 연구에서는 팀 단위로 발생한 사고에 대한 보고서를 중심으로 분석을 진행했기 때문에 실제 사고에서는 영향을 미치는 요소이나 기재되지 않은 요소들을 파악할 수 없다는 한계점이 있다. 이렇게 기재되지는 않았지만 의미가 있었던 요소들을 파악할 수 있는 방법을 고안할 필요가 있다. 그리고 본 연구의 결과를 보다 확장하고 체계화하기 위해 본 연구에서 조사된 세 작업영역 외에 팀 의사결정이 매우 중요할 것으로 판단되는 다른 산업분야(예: 의료시스템, 해양산업 및 국방시스템 등)의 사고사례를 추가적으로 분석할 필요가 있을 것으로 생각한다. 또한 팀 의사결정 영향요소들 간의 상관관계 및 인과관계와 같은 관련성에 대한 다양한 관점에서의 연구도 추가적으로 진행할 필요가 있을 것으로 판단한다.

## Acknowledgements

This research was supported by Nuclear R&D Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science and ICT (Grant- NRF-2017M2A8A4019814).

## References

- Adelman, L., Zirk, D.A., Lehner, P.E., Moffett, R.J. and Hall, R., Distributed tactical decision making: Conceptual framework and empirical results, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 16(6), 794-805, 1986.
- Andersson, D., Rankin, A. and Diptee, D., Approaches to team performance assessment: a comparison of self-assessment reports and behavioral observer scales, *Cognition, Technology & Work*, 19(2-3), 517-528, 2017.
- Brannick, M.T., Salas, E. and Prince, C. (Ed), *Team Performance Assessment and Measurement*, Lawrence Erlbaum Associates, 1997.
- Cooke, N.J., Team cognition as interaction, *Current Directions in Psychological Science*, 24(6), 415-419, 2015.
- Cooke, N.J., DeJoode, J.A., Pedersen, H.K., Gorman, J.C. and Connor, O.O., The role of individual and team cognition in uninhabited air vehicle command-and-control, ARIZONA STATE UNIV EAST MESA AZ, 2004.
- Cooke, N.J., Gorman, J.C., Duran, J.L. and Taylor, A.R., Team cognition in experienced command-and-control teams, *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 13(3), 146, 2007.
- Cooke, N.J., Gorman, J.C., Myers, C.W. and Duran, J.L., Interactive team cognition, *Cognitive Science*, 37, 255-285, 2013.
- Chung, Y.H., Research Trend of Communication Analysis and Human Error, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 30(1), 65-74, 2011.
- Dinh, J.V. and Salas, E., Factors that Influence Teamwork. In E. Salas, R. Rico and J. Passmore (Ed), *The Wiley Blackwell Handbook of the Psychology of Team Working and Collaboration Process*, 15-41, 2017.
- Dyer, J.L., Team research and team training: A state-of-the-art review, *Human Factors Review*, 26, 285-323, 1984.
- Entin, E.E. and Serfaty, D., Adaptive team coordination, *Human Factors*, 41(2), 312-325, 1999.
- Fleishman, E.A., Mumford, M.D., Zaccaro, S.J., Levin, K.Y., Korotkin, A.L. and Hein, M.B., Taxonomic efforts in the description of leader behavior: A synthesis and functional interpretation, *The Leadership Quarterly*, 2(4), 245-287, 1991.
- Flin, R., Martin, L., Goeters, K.M., Hörmann, H.J., Amalberti, R., Valot, C. and Nijhuis, H., Development of the NOTECHS (non-technical skills) system for assessing pilots' CRM skills, *Submitted to Human Factors and Aerospace Safety*, 2003.
- Heo, E.M. and Byun, S.N., A Preliminary Study on the Communication Effect on Team Performance in Main Control Room of SMART, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 32(1), 97-106, 2013.
- ICAO, Threat and Error Management (TEM) in Air Traffic Control, International Civil Aviation Organization, ICAO Preliminary Unedited Version, 2005.
- Johns, G., The essential impact of context on organizational behavior, *Academy of Management Review*, 31(2), 386-408, 2006.
- Keus, H.E., "A Framework for Analysis of Decision Processes in Teams", *CCRP Symposium 2002*, Monterey, CA, 2002.

- Kim, J.W. and Jung, W., A taxonomy of performance influencing factors for human reliability analysis of emergency tasks, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 16(6), 479-495, 2003.
- Kohda, T., Tanaka, T., Nojiri, Y. and Inoue, K., Reliability Analysis of Operating Procedure in Team Performance. In P.C. Cacciabue and I.A. Papazoglou (Ed), *Probabilistic Safety Assessment and Management*, 517-522, 1996.
- Kontogiannis, T. and Malakis, S., *Cognitive Engineering and Safety Organization in Air Traffic Management*, CRC Press, 2018.
- Kozlowski, S.W. and Ilgen, D.R., Enhancing the effectiveness of work groups and teams, *Psychological Science in the Public Interest*, 7(3), 77-124, 2006.
- Kozlowski, S.W. and Klein, K.J., A Multilevel Approach to Theory and Research in Organizations: Contextual, Temporal, and Emergent processes. In K.J. Klein and S.W.J. Kozlowski (Ed.), *Multilevel Theory, Research, and Methods in Organizations: Foundations, Extensions, and New Directions*, 3-90, 2000.
- Manser, T., Teamwork and patient safety in dynamic domains of healthcare: a review of the literature, *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*, 53(2), 143-151, 2009.
- Nam, C.S. and Thomas, K., Effects of Cultural Difference and Task complexity on Team Interaction Process, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 25(3), 7-16, 2006.
- Oh, Y.J. and Lee, Y., Communication for the Effective Team-Work of MCR Operator in Nuclear Power Plants, *Proceedings of the Conference of the Ergonomics Society of Korea*, 196-201, 2011.
- Oser, R.L., Gualtieri, J.W., Cannon-Bowers, J.A. and Salas, E., Training team problem solving skills: an event-based approach, *Computers in Human Behavior*, 15, 441-462, 1999.
- Palmqvist, H., Bergström, J. and Henriqson, E., How to assess team performance in terms of control: a protocol based on cognitive systems engineering, *Cognition, Technology & Work*, 14(4), 337-353, 2012.
- Paris, C.R., Salas, E. and Cannon-Bowers, J.A., Teamwork in multi-person systems; a review and analysis, *Ergonomics*, 43(8), 1052-1075, 2000.
- Park, J., Kim, Y. and Jung, W., Application of the HuREX Framework for Calculating Empirical Human Error Probabilities from the Operation Experience of Domestic Nuclear Power Plants-Preliminary Results (KAERI/TR-6474/2016), Korea Atomic Energy Research Institute, 2016.
- Park, T., Communication and Cultural Factors Influencing Human Performance and Errors in Ship Navigation, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 36(6), 729-740, 2017.
- Rothrock, L., Cohen, A., Yin, J., Thiruvengada, H. and Nahum-Shani, I., Analyses of team performance in a dynamic task environment, *Applied Ergonomics*, 40(4), 699-706, 2009.
- Salas, E., Cooke, N.J. and Rosen, M.A., On teams, teamwork, and team performance: discoveries and developments, *Human Factors*, 50(3), 540-547, 2008.

Salas, E. and Fiore, S.M. (Ed.), *Team Cognition: Understanding the Factors that Drive Process and Performance*. American Psychological Association, 2004.

Salas, E., Goodwin, G.F. and Burke, C.S. (Ed), *Team Effectiveness in Complex Organizations: Cross-Disciplinary Perspectives and Approaches*, Routledge, 2009.

Salas, E., Fiore, S.M. and Letsky, M.P. (Ed), *Theories of Team Cognition: Cross-Disciplinary Perspectives*, Routledge, 2012.

Salas, E., Rico, R. and Passmore, J. (Ed), *The Wiley-Blackwell Handbook of the Psychology of Team Working and Collaborative Process*, John Wiley & Sons, 2017.

Salas, E., Shuffler, M.L., Thayer, A.L., Bedwell, W.L. and Lazzara, E.H., Understanding and improving teamwork in organizations: A scientifically based practical guide, *Human Resource Management*, 54(4), 599-622, 2015.

Vessey, W.B. and Landon, L.B., Team Performance in Extreme Environments. In E. Salas, R. Rico and J. Passmore (Ed), *The Wiley Blackwell Handbook of the Psychology of Team Working and Collaboration Process*, 531-553, 2017.

## Author listings

**Won-Jun Jung:** jwj502@naver.com

**Highest degree:** B.S., Department of Physics, Chonnam National University

**Position title:** Graduate Student, Department of Industrial Engineering, Chonnam National University

**Areas of interest:** System Safety, Human-Computer Interaction, Human Factors

**Dong-Han Ham:** donghan.ham@gmail.com

**Highest degree:** Ph.D., Department of Industrial Engineering, KAIST

**Position title:** Professor, Department of Industrial Engineering, Chonnam National University

**Areas of interest:** Cognitive Systems Engineering, Human-Computer Interaction, System Safety Engineering, Service Science & Engineering, Knowledge Management