Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 30, No. 1 pp.65-74, February 2011 DOI:10.5143/JESK.2011.30.1.65

의사소통 분석 및 인적오류 연구 추이

정 윤 형

글로벌인재개발실, 한국원자력안전기술원

Research Trend of Communication Analysis and Human Error

Yun Hyung Chung

34 Gwahak-ro, Department of Education and Training, Korean Institute of Nuclear Safety, Daejeon, 305-338

ABSTRACT

Method: We reviewed the papers of communication analysis studies in various fields and summarized communication error researches. **Results:** We proposed perspectives for communication error analysis and explained the need for extended analysis framework using advanced human-machine interfaces, which will cause the change of communication between operation team, including shifted abstraction phenomena. And we describe main concepts and the case study of H-H-S framework and finally introduce current studies of communication analysis in nuclear domain. **Conclusion:** The goal of communication analysis is common in all industries. We have to share and co-work for event prevention. **Application:** The results of the communication analysis might help to facilitate the understanding for interested researchers.

Keywords: Communication error, Communication analysis, Human error, Communication Problem, Nuclear power plant

1. Introduction

1.1 Concepts of communication error

의사소통 오류(communication error)는 언어 및 비언어적 수단을 통해 매 순간 소통하는 사람과 사람 사이에서 언제든지 발생할 수 있고 또 발생한다. 그렇지만 의사소통 오류가 발생하여도 그 결과가 실제 본래의 의도와 다른 결과를 언제나 초래하지는 않는다. 이는 의사소통 오류가 인적 오류처럼 사람이 지닌 오류 대처기능에 의해 더 이상 나쁜 상황으로 치닫지 않고 정상적으로 처리되곤 하기 때문이다.

의사소통 오류의 성격을 이해하기 위해 의사소통을 외적 측면과 내적 측면에서 살펴보고자 한다. 먼저 외적 측면을 살펴보면, 임의의 운전팀은 의사소통하면서 공동의 목적을 달성하기 위하여 협업하게 된다. 예를 들면, 원자력발전소(이하 원전) 주제어실에서 운전은 발전과장이 주도한다. 즉, 과업 리더 발전과장은 각 운전절차 세부항목의 수행이나 생략을 결정하고 다른 운전원들(예, 원자로 운전원, 터빈 운전원)은 과업 지원자 역할을 수행하며 함께 원전을 운전한다. 이처럼 상황에 대응하는 하나의 운전팀은 마치 '확장된' 한 사람처럼 간주할 수 있다. Rasmussen(1986)이 제안한 개인의 의사결정 사다리모형은 각각의 데이터처리 활동을 지칭하고 있다. 각 인지단계의 특성을 고려할 때 사람의 인지단계는 Figure 1에서처럼 크게 의사결정 기능 및 지원 기능으로 구분할 수 있다. 따라서 의사소통하며 운전에 참여하는 각 운전원은 의사결정자 또는 지원자 기능을 담당하게 되며, 이런 상황에서 발생하는 의사소통 오류는 팀 오류로 간주할 수 있다. Reason(1990)은 팀 오류를 인적 오류의

Corresponding Author: Yun Hyung Chung. 34 Gwahak-ro, Department of Education and Training, Korean Institute of Nuclear Safety, Daejeon, 305-338.
E-mail: yhchung@kins.re.kr
Copyright@2011 by Ergonomics Society of Korea(pISSN:1229-1684 eISSN:2093-8462). All right reserved.

한 형태로 간주했으며, Sasou & Reason(1999)는 팀 오류를 그룹 프로세스에서 발생하는 인적 오류로 정의하였다. 따라서 의사소통 오류는 팀의 의사결정 기능과 지원 기능 사이에서 발생한 오류라 할 수 있다. 팀 오류로서의 의사소통 오류를 인적 오류와 연계시키면, 인적 오류의 slips, lapses는 각각 팀 지원 기능의 slips, lapses에, 인적 오류의 mistakes은 팀 의사결정 기능의 mistakes으로 대응될 수 있다. 그러나 slips는 전체적으로 팀의 활동에서 분리될 수 있으므로 팀 오류로서의 slips는 보통 제외된다(Sasou and Reason, 1999).

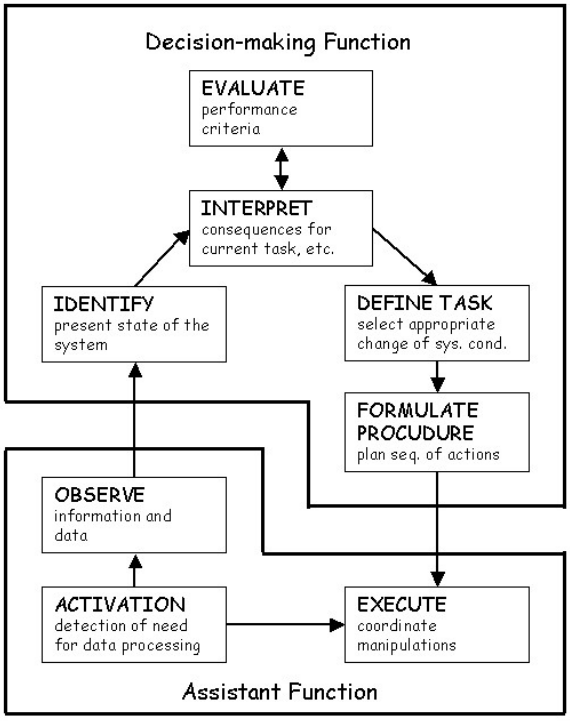

Figure 1. Functional grouping of Rasmussen's decision stepladder model based on data processing activities

둘째, 내적 측면에서 살펴 보면 의사소통은 화자(話者)의 인지 처리의 일부를 차용하므로써 청자(聽者)의 의사결정 및 행위에 영향을 주게 된다. 마찬가지로 의사소통 오류는 청자의 인적 오류에 영향을 미친다. 그러나 인적 오류의 발현은 의사소통 오류 발생에 전적으로 좌우되지는 않는다. 청자는 언제나 스스로의 의사결정 능력을 지니고 있기 때문에 의사소통 오류가 인적 오류이지만 언제나 인적 오류를 초래하지는 않는다. 다시 말해, 의사소통 오류는 청자의 의사결정을 거친 후에 오류적 판단과 오류적 행위에 이르게 된다. 그러므로 의사소통 오류의 분석은 독립적으로 수행될 수 없다. 즉, 분석자가 최초에 인적 오류를 파악하고 이어 문제점의 하나로 발견된 의사소통 오류를 분류하고 분리하여 의사소통 오류를 진단하는 것이 매우 어렵다. 결국 의사소통 오류는 인적 오류의 직접적인 원인이 아닌 오류 발생 과정의 주요 단계에서 삽입되는 인적 오류의 요소(source)라 하겠다. 그러므로 전체 오류 발현의 전파 과정을 파악하기 위하여는 의사결정 단계에서의 의사소통 기능을 이해하고 의사소통 교환에서 전달되는 정보를 이해하는 것이 중요하다.

1.2 Perspectives of communication error analysis

인적 오류를 분류하는 기준은 인적 오류를 바라보는 6가지 관점(Rasmussen 등, 1994)처럼 여러 가지이다. 그 가운데 하나는 누락 오류(Error of Omission)와 부적절한 조치 오류(Error of Commission; 수행 오류로도 번역되며 이하 '수행 오류'로 표기)이다. 의사소통 오류를 분석하는 관점의 하나로 누락 오류와 수행 오류를 채택하여 소개한다.

첫째, 수행 오류 관점의 의사소통 연구를 살펴보자. 의사소통 오류를 분석하였던 많은 연구자들의 분석 관점은 수행 오류로서의 의사소통 오류였다. 가장 많은 의사소통 오류 연구가 이루어진 항공 분야는 전통적으로 대화를 주요 분석대상으로 사용하였기에 의사소통 수행 오류 중심의 분석 연구로 간주된다.

2.2절과 3.3절에서 기술하는 연구는 기본적으로 대화 녹취록을 대상으로 분석을 수행하므로 의사소통을 통해서 드러나는 수행 오류에 쉽게 주목하게 된다. 물론 사건의 심각성으로 오랜 시간을 투입하여 분석의 깊이를 더하면 누락 오류로서의 의사소통 오류도 분석이 가능하겠으나 실제적으로는 수행 오류를 분석하는 수준에 국한되기 쉽다.

둘째, 누락 오류 관점에서 의사소통을 분석하는 사례를 꼽을 수 있다. 이는 대화 내용이 아닌 대화 방식에 초점을 맞추어 분석하는 접근법이다.

일반적으로 대화 내용만을 분석하는 경우 의사소통 수행 오류가 더 쉽게 또는 더 빈번하게 표출되어 더 많은 비중을 차지하는 것으로 간주하기 쉽다. 의사소통 누락 오류는 대화 내용이 없어서 분석 시 발견이 어렵다. 실제 상황에서 분석된 결과보다 더 빈번하게 의사소통 누락 오류가 발생할 것으로 예상되는 것도 이 때문이다.

대화 방식 중심의 흥미로운 분석으로 의사소통 누락 오류를 다룬 사례로 대한항공 801편의 1997년 괌 사고 분석을 꼽을 수 있다(Gladwell, 2009). 당시 대한항공 801편은 괌 공항의 남서쪽 4.8킬로미터 지점의 야산 니미츠 힐(Nimitz Hill)의 언덕을 들이받았고, 구조대원들이 추락현장에 도착하기도 전에 254명의 탑승객 중 228명이 사망했다.

이 분석사례는 국가별 문화 차이가 대화에서 미치는 영향, 즉 화자(話者) 중심과 청자(聽者) 중심의 대화 방식의 차이

가 어떻게 의사소통 누락 오류를 초래할 수 있는지 극명하게 보여준다.

다음에 기술한 내용은 말콤 글래드웰의 책 '아웃라이어' 제7장에서 발췌하였다:

> [오전 1시 20분 1초]
> 기장: 이거 뭐 왕복해가지고 아홉 시간 나와야 뭐 조금이라도 있는 거 아니냐? 이것 여덟 시간 나오면 말짱 헛일 아냐? 여덟 시간 가지곤 아무 도움 안되는 것... 아이고, 맥시멈으로 고생시키는구나. 맥시멈으로. 이게 아마, 이래되면 캐빈 승무원들 호텔비 안 들어가지요. 비행시간 맥시멈으로 태우지요, 그래서 노멀 점보(조종사 세 명이 타야 하는 구식)만 잡아먹는 거야(김포-괌 왕복시간은 여덟 시간이 안되므로 초과근무 수당에 해당되지 않는 것을 두고 하는 말)
> (의자를 움직이는 소리가 들린다. 1분 경과 후.)
> [오전 1시 21분 13초]
> 기장: 어…정말로…졸려서…(알아들을 수 없는 말)
> 부기장: 그럼요. 괌이 안 좋네요, 기장님
> 기장: 야, 비가 많이 온다.
> 부기장: 예. 더 오는 것 같죠, 이 안에는…
> [오전 1시 30분 경]
> 기관사: 이게 괌이야? (침묵) 이게 괌이야, 괌!
> 기장: 허허허, 괌 좋네.
> [오전 1시 40분 경]
> 기관사: 오늘 기상레이더 덕 많이 본다.
> 기장: 그래. 정말 쓸모 있지.
> [오전 1시 42분 25초] 충돌음

부기장은 "예, 더 오는 것 같죠, 이 안에....." 라는 말하는 대신 어떻게 말해야 했을까? 우리는 그가 말하고자 했던 것을 알고 있다.

"기장님, 비상 대책 없이 시계 접근을 하겠다고 하셨지만 바깥 날씨가 끔찍합니다. 구름을 뚫고 나가면 활주로를 볼 수 있을 것 같다고 하셨는데. 만약 안보이면 어떡하시겠습니까? 밖은 완전히 깜깜하고 비는 쏟아지는데 글라이드 스코프는 작동 않고 있습니다."

하지만 이렇게 말하지 않았다. 그는 힌트를 주면서 스스로 상급자에게 할 수 있는 최선을 다했다고 생각했을 것이다. 부기장은 날씨에 대해 다시는 언급하지 않았다. 비행기가 구름을 뚫고 나와 파일럿들이 먼 곳의 불빛을 발견했을 때의 상황이다. 기관사가 물었다.

"이게 괌이야?"

잠시 침묵한 후 그가 다시 말했다.

"이거 괌이야, 괌!"

기장이 웃음을 터트렸다.

"허허허, 괌 좋네!"

하지만 좋지 않았다. 착각을 하고 있었을 뿐이다. 공항에서 32킬로미터나 떨어진 지점이었고 주변의 기상 상황은 엄청나게 좋지 않았다. 날씨를 추적하는 것이 그의 임무였던 터라 기관사는 이 사실을 잘 알고 있었고 그는 이렇게 말했다.

"오늘 기상레이더 덕 많이 본다."

기상레이더 덕을 많이 본다고? 두 번째 힌트는 이렇게 제시되었다. 기관사가 말하고자 했던 것은 부기장이 의도했던 것과 똑같았다. 그는 아마도 이렇게 말하고 싶었을 것이다.

"육안에만 의존해서 착륙을 시도할 수 있는 상황이 아닙니다. 기상레이더에 뜬 걸 보세요. 계속 가면 문제가 생길 수 있습니다."

서구인의 눈에는 기관사가 이런 말을 고작 한 번만 하고 말았다는 것이 의아하게 보일 수도 있다. 서구인의 의사소통은 언어학자들이 '화자(話者) 중심'이라고 부르는 원칙, 즉 의사소통이 명확하게 이루어지지 않으면 부정확하게 말한 화자에게 책임을 묻는 원칙에 기반하고 있다. 그러나 한국은 다른 많은 아시아 국가와 마찬가지로 '청자(聽者) 중심'이다. 대화 내용을 알아듣는 것은 듣는 사람의 문제인 것이다. 기관사가 보기에 자신은 충분히 말했다.

대화 참여자가 서로 상대방의 의중을 세심하게 짚어가며 말하고 듣는다는 점에서 이 미묘한 대화에는 일종의 아름다움이 존재한다. 무감각하고 무신경한 것을 용납하지 않는다는 뜻에서 이 대화는 세련되다. 그러나 권력 간격이 먼 대화는 듣는 사람이 충분한 주의를 기울일 능력이 있을 때라야 제대로 이뤄질 수 있다. 양쪽 모두 상대방의 의중을 떠볼 만한 시간이 많을 때 가능한 것이다. 비바람이 몰아치는 밤, 글라이드 스코프가 고장난 공항으로 비행기를 착륙시켜야 하는 탈진한 조종사에게는 어울리지 않는다.

의사소통 누락 오류를 도출하기 위하여 대부분의 의사소통 오류 연구처럼 대화 내용에 기초하지만 대화 방식에 초점을 맞추는 접근법을 사용하고 있다. 이를 통해서 대화 내용만의 분석에서 표출되지 않은 누락 오류를 찾아낼 수 있게 된다. 이와 같이 국가별 대화 문화의 차이에 기인한 누락 오류로 대형 항공사고가 발생하는 것을 예방하기 위해 대한항공은 사고 후 언어 사용을 영어로 통일하였다. 이는 우리말 사용 시 존댓말 표현에 담긴 위계질서나 권위를 존중하는 의식을 낮추기 위함이었다.

2. Review of Communication Analyses

2.1 Need for communication studies

의사소통을 분석하여 그 오류를 찾아내고자 노력하는 이유로 다음의 세 가지 필요성을 지니고 있다. 첫째 이유는 사고의 피해를 방지하는데 있다. 예를 들면, 병원내 사망에 있어 임상기술오류보다 의사소통 오류 비율이 두 배에 달한 사례가 보고되었으며(Wilson et al., 1995), 철도 보수 사건(incidents) 원인의 92%가 의사소통에 달하는 사례가 보고되었다(Murphy, 2001). 항공 분야의 미국 ASRS 데이터베이스를 분석한 결과 발생 사건의 약 85%가 구두 정보 교환 문제에 기인하고 있었으며(Nagel, 1988), 일본 원전에서 발생한 인적 오류 사건 중 25%가 문서나 구두 의사소통 문제였다(Hirotsu et al., 2001). 이처럼 여러 산업에서 의사소통이 문제에 기인한 높은 비중을 해소하고자 수많은 의사소통 연구가 수행되었다. 즉, 대한항공 801편의 사고처럼 대규모 인적 및 물적 손실이 발생하는 사고가 발생한 이유를 이해하여 동일한 사고가 재발되지 않도록 조치하고자 함이다.

둘째, 적극적인 차원에서 팀 수행도를 개선하기 위함이다. 개인 차원의 인적 오류에 대한 연구는 지난 수십 년 동안 매우 다양한 형태로 진행되었다. 그 결과로 인적 오류에 대비한 설계와 교육훈련이 새롭게 적용되어 개인 과업 수행도(task performance) 향상이 뒤따랐다. 그러나 이를 팀 수행도 개선으로 연결시키는 연구결과는 많은 진전을 이루지 못한 상태이다.

항공 분야는 의사소통 개선을 통한 팀 과업 수행도 향상을 위하여 Crew Resource Management(이하 CRM) 차원에서 의사소통을 교육훈련에 포함시키어 수행도 개선을 달성하고 있다. 원자력 분야에서도 CRM 교육훈련체계를 도입한 실험에서 교육훈련 전후의 태도 변화와 팀 수행도 향상됨을 보고되었다(Kim et al., 2009).

마지막으로 기술에 기인한 오류는 설계기술의 발전에 의해 매우 많은 감소가 이룩되었으나, 인적 오류는 어느 수준에서 저감화가 정체된 상태이다. 마찬가지로 의사소통 문제점도 인적 요소 차원에서 넘어야 할 마지막 장애물로 잔존하고 있다. 이는 기술이 발전함에 따라 개발되는 시스템의 복잡도가 점차 높아지는 현실에서 인적 오류 및 의사소통 오류 대응 연구의 필요성이 한층 중요성을 지니는 이유가 된다.

[1]의사소통 요소는 교신내용을 화행(Speech Act) 범주 및 항공 주제(Aviation Topic)로 구분할 때, 구분된 각각의 세부항목을 지칭한다.

2.2 Cases for communication error classification

의사소통 오류 분석은 항공산업계 의사소통 연구의 첫 번째 현안이었다. 1980년대 초반부터 각종 사건 및 사고 데이터베이스의 분석에서 의사소통이 차지하는 비중이 확인되면서 우선적으로 연구필요성이 인식되었기 때문이다. 이 절에서는 연구자들이 의사소통 오류를 어떤 측면에서 어떻게 분류하였는지 기술하고 있다.

Grayson and Billings(1981)는 NASA ASRS 데이터베이스 중 조종사와 관제사가 제출한 보고사례들로부터 조종사와 관제사간 정보전달의 문제점을 착안하고, 10개의 의사소통 오류 유형을 제안하였다. 제안한 유형에서 가장 빈번한 의사소통 오류는 요구되는 '정보의 미전달(Absent)'이었으며, 다음으로는 '전달된 내용의 부정확성' 및 '시기적으로 부적절한 전송'이 해당되었다. 또한 Morrison and Wright (1989)도 ASRS 데이터베이스(기간: 1986.1~1988.9)를 이용한 연구에서 관제사가 유발할 수 있는 3가지 의사소통 오류를 제안하였다. 두 연구에서 착안한 오류 분류의 관점은 비행기 운항에서 발생하는 의사소통 문제점의 유형이었다(Prinzo and Britton, 1993).

Navarro(1989)는 문헌조사를 통해 비행승무원의 의사소통 오류를 연구하였으며, 5개의 의사소통 오류 유형을 제안하였다. Navarro는 순차적으로 처리되는 정보처리모형이 개인 및 그룹 의사소통에 적용가능하다고 주장하며, 5단계의 정보처리모형 관점에서 각 단계에서 오류가 발생할 수 있다는 점에 착안하여 오류를 분류하였다.

Prinzo and Britton(1995) 및 Prinzo(1996)는 미 항공법규에 따라 설정된 표준 어법(phraseology)과의 차이점을 의사소통 오류로 간주하고, 이를 크게 메시지 내용과 메시지 전달에 기인하는 것으로 분류하였다. 세부적인 의사소통 오류 항목은 총 9개이며, 메시지 내용에서 7개 및 메시지 전달방법에서 2개로 구성된다. 화행(Speech Act)을 이용한 연구에서는 표준 어법과 차이점의 관점으로 분류하였다.

Prinzo(1996)는 ATSAT(Aviation Topic-Speech Act Taxonomy) 분류체계를 이용하여 TRACON(Terminal Radar Approach Control)의 4,500개의 교신 내용에서 구분된 12,200개의 의사소통 요소[1]를 표준 어법과 비교·분석한 결과, 관제사는 의사소통 요소의 40%에서 그리고 조종사의 경우 59%에서 하나 이상의 불일치 항목이 발견되었다. 의사소통 오류의 내용 측면에 있어서 관제사는 일반적으로 핵심 단어들을 생략하는 반면, 조종사는 지시사항에 대해 부분적으로만 Readback하고 있음을 확인하였다.

Orasanu et al.(1997)은 외국 공항에서 조종사가 겪는 의사소통 문제점을 ASRS 및 IATA(국제항공수송협회) 데이터베이스에 기초하여 분석하였으며, 13개의 오류 유형을

제안하였다. 의사소통 오류는 언어사용 관점에서 분류하였다. FAA(2002)의 ATC(Air Traffic Control) 운영 오류 보고 양식에서는 의사소통 오류의 유형을 6개로 분류하고 있다. 오류 보고양식에서는 특정한 분류 관점이 아닌 제반 증상을 나열하고 있는 것으로 간주된다.

Hollnagel(1998)은 원자력산업을 포함한 공정산업에서의 인적 오류 연구에 기초하여 개발한 방법론 CREAM (Cognitive Reliability and Error Analysis Method)에서 의사소통 오류의 세부항목(specific consequent) 분류에서 5개 유형을 제안하고 있다. 이는 인지공학적 관점에서 의사소통 오류를 분류하고 있다. 한편 Gibson et al.(2006)은 의사소통 오류체계를 제안하고 철로 보수에 적용하였다. 의사소통 오류체계는 의사소통 오류 기준, 문법 수준, 확장 오류 모드로 구성된다. 직접 오류 유형을 분류하지 않았으나 오류 기준과 문법 수준이 오류 유형 분류에 이용될 수 있으며, 이 경우 6가지 유형으로 분류하게 된다.

앞에 기술한 연구에서 제시된 의사소통 오류 유형을 재 분류하기 위하여 그림 2에 제시된 단순화된 단방향 의사소통 모형을 사용하고자 한다.

Figure 2에서 의사소통 오류의 출처는 메시지 전달자, 메시지 수신자, 그리고 전달 과정이 있다. 이를 고려하여 의사소통 오류 유형을 4가지, 즉 전달자 요인을 Type A, 전달과정 요인을 Type B, 수신자 요인을 Type C, 그리고 기타 외부 요인을 Type D로 분류할 수 있다. Table 1은 의사소통 오류 유형 분류 연구결과를 Figure 2의 단방향 의사소통 모형에 기초하여 4가지 유형으로 재정리한 결과이다.

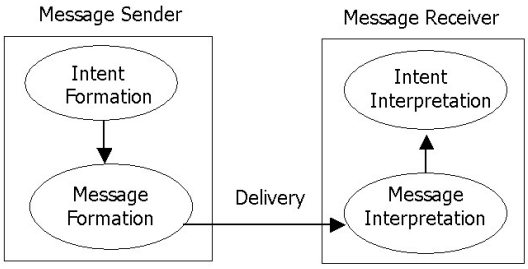

Figure 2. Simplified one-way communication model

Table 1에서 항공 데이터베이스 또는 표준 어법을 적용한 의사소통 오류 분류에서는 주로 전달자 오류에 초점이 맞추어져 있다. 반면에 Hollnagel은 수신자에 초점이 있고, Gibson 등은 전달 과정에 초점이 있다.

3. Framework of Communication Analysis

3.1 Need of a more inclusive perspective in communication analysis

일반적으로 사람과 사람간 정보교환을 지칭하며, 지금까지 대부분의 의사소통 연구는 사람과 사람의 의사소통 – 예를 들면, 항공 분야에서 조종사와 관제사의 대화 – 을 분석대상으로 삼았다.

이는 사회적 관점에서 인간의 대화를 다루어 의사소통의

Table 1. Classification of communication errors based on simplified one-way communication model

	Type A	Type B	Type C	Type D
Grayson & Billings (1981)	Ambiguous phraseology, Garbled phraseology, Incomplete content, Inaccurate transposition, Other accuracies in content, Misinterpretable	Absent (equipment failure), Untimely transmission, Absent (not sent)	Recipient not monitoring	
Morrison & Wright(1989)	Clearance composition, Phraseology	Delivery, Readback/Hearback		
Navarro(1989)		Transmission	Identification, Interpretation	Action, Detection
Prinzo & Britton (1995)	Grouped, Sequential, Omission, Substitution, Transposition, Excessive Verbiage, Dysfluency, Misarticulation	Partial Readback		
Orasanu et al. (1997)	Speech act, Language/Accent, Unfamiliar Terminology, Hormophony	Partial/improper readback, Dual language switching, Repetition on language, Unclear hand-off	Uncertain inference, Lexical inference, Lexical confusion, False assumptions	Mistakes (unexplained)
Hollnagel (1998)	Incorrect information	Message not received, No information	Message misunderstood, Misunderstanding	
FAA(2002)	Phraseology, Transposition	Readback, Acknowledgment	Misunderstanding	Other
Gibson et al.(2006)	Phonology, Syntax, Semantics, Pragmatics	Communication failure		Task comm. Error

표면적 특성에 치우치고 인간의 정신모형이나 인지단계를 간과하게 된다. 반면에 인간-컴퓨터 상호작용(HCI) 연구자들은 기술시스템으로 제시되는 정보가 인간 사용자의 인지처리에 영향을 주기 때문에 기술시스템의 인터페이스 설계에 초점을 맞추어 왔다.

정보기술이 발전하면서 인간과 시스템의 상호작용은 명시적 또는 묵시적 정보교환, 또는 인간-시스템 상호작용으로 간주될 수 있다. 이 경우 개인 수준의 인지 과정에 치우치게 된다. 따라서 정보기술의 변화로 인한 의사소통의 질적 및 양적 변화를 팀 수준에서 분석할 수 있는 폭넓은 분석도구가 필요하다.

정보기술이나 인간-기계 연계(HMI) 기술 변화로 인해 사회기술시스템에서 발생하는 변화의 연결고리를 설명하면 다음과 같다. 먼저, HMI 기술의 변화는 기술시스템으로 제공되는 정보에 변화를 주게 된다. 다음으로 시스템으로 제공되는 정보의 변화는 시스템과 상호작용하게 되는 인간의 과업 특성을 바꾼다. 정보가 다르게 표현되면 인간은 다른 인지처리와 전략으로 과업을 수행하게 된다(3.2절 의사소통의 추상화 이동 설명 참조). 그 같은 과업 특성 변화는 항공 분야에서 신기술 도입으로 조종사와 관제사의 역할 변화로 보고되었다(Prinzo, 2003). 여기서 정보 변화는 인간이 정보처리를 쉽게 할 수 있도록 부분적으로 자동화된 정보처리나 통합 정보 표시를 도입하거나 또는 인간과 기술시스템간 정보처리 과업의 할당을 바꾸는 것을 지칭한다. 마지막으로 인간의 과업과 팀원간 공유하는 표시 정보의 변화는 팀 과업이 동일하다 하여도 팀원간 의사소통의 변화를 초래한다. 이러한 사회기술시스템에서의 변화 연결고리에서 다음 사실을 알게 된다. 시스템 운영 중 이루어지는 의사소통을 이해하려면 과업은 물론 정보 표현을 함께 고려해야 한다는 점이다. 역으로 과업 및 정보 표시의 설계는 인간 의사소통에의 결과적 특성을 고려하여야 한다. 이 연결고리를 통해 인과관계를 추적하는 것이 디자인 이슈에 해당함을 알게 된다.

3.2 Communication messages and structure in decision-making stages

3.2.1 원전 주제어실의 의사소통 메시지 유형

1.1절에 기술한 바와 같이 원전 주제어실(main control room; MCR)의 운전팀원 중에서 발전과장이 과업 리더로서 대화를 이끌고, 다른 보드 운전원들(board operators)은 과업 지원자로서 의사소통하였다. 가장 빈번한 대화 패턴은 질의-답변, 명령-조치 보고의 조합이었다. 때때로 발전과장은 보드 운전원들의 대응 내용을 종합하거나 추상화한 판단결과를 보드 운전원들에게 알려주고 상황에 따라 대응 운전절차서 또는 운전단계를 변경하기 위한 의도를 선언한다. 한편 보드 운전원도 탐지보고 형태로 발생한 시스템 변화를 알리거나 상황에 대처하기 위한 과업을 발전과장에게 제안한다.

메시지 유형은 모의된 비상 상황이어서 과업에 국한되었다. 호출 및 수용 표시와 같은 메시지는 대부분 메시지 앞뒤에 나왔다. 그림 3은 원전 주제어실에서의 의사소통 흐름을 나타내고 있다.

발전과장과 보드 운전원들의 메시지 유형간 차이는 발전소 운전에 있어서 그들이 담당한 역할을 반영한다. 즉, 주제어실 의사결정 과정은 발전과장이 주도하고 보드 운전원들이 지원하는 방식으로 거의 일방적이었다.

3.2.2 의사결정 단계와 의사소통 구조

Rasmussen 의사결정 사다리모형(Figure 1 참조)은 인간의 의사결정 행위를 8단계로 묘사했다. 이를 단순화시키고 동시에 Figure 1에 표시된 의사결정 및 지원 기능을 중심으로 묘사한 단순화된 의사결정 모형은 Figure 4와 같다. 또한 Figure 3에 나타난 주제어실에서의 의사소통 특성을 Figure 4의 의사결정 단계와 결합시켜 Figure 5를 구하였다.

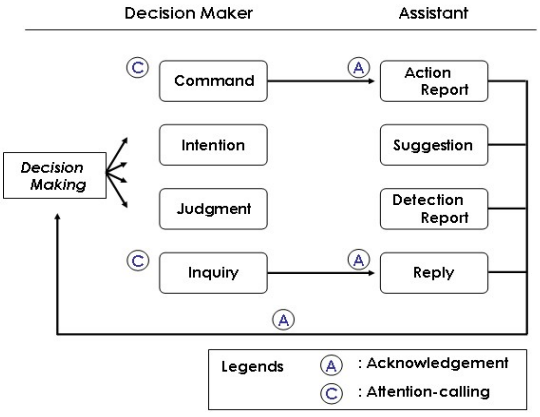

Figure 3. Flow of communication in a MCR

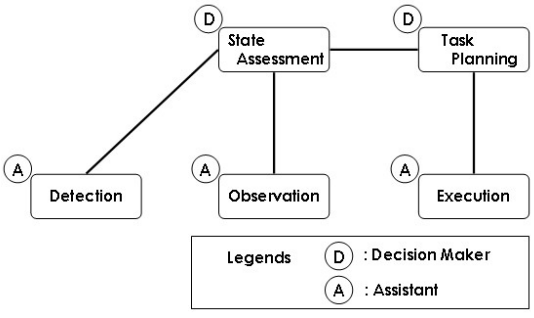

Figure 4. The simplified decision-making model in a MCR

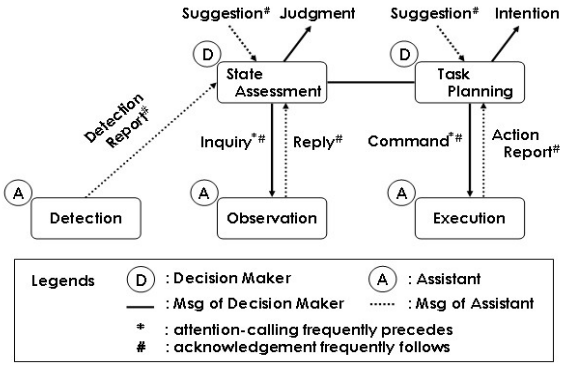

Figure 5. The communication structure with a decision-making in a MCR

3.2.3 정보 표현이 의사소통에 미치는 영향

인간에게 제공되는 시스템의 정보 수준이 하위 수준일 때 인간이 높은 수준의 의사결정 과업(예, 상황파악)을 수행하려면 인간은 상황파악에 필요한 사항은 분해하여 각각의 정보를 공정변수로부터 확인하고 이를 다시 종합하거나 추상화시켜 목적인 상황파악을 달성한다(Figure 6 참조).

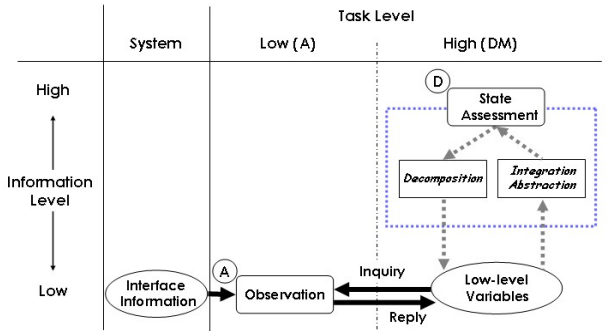

Figure 6. The relationship between state assessment and observation in decision-making

그러나 시스템이 의사결정에 필요한 상위 수준의 정보를 제공하도록 설계되면 인간은 더 이상 높은 수준이 아닌 낮은 과업 수준에서 의사결정을 수행하게 된다. 이처럼 시스템의 정보 표현에 의해 인간의 추상화 정보처리가 이동하는 현상이 발생하게 된다(Figure 7 참조).

3.3 H-H-S framework for communication analysis

원전 주제어실에 대형정보 표시 및 종합/그룹 정보 제공이 각 운전원에게 제공되면서 발전과장과 보드 운전원들 그리고 발전소 시스템을 중심으로 과업수행 환경이 크게 바뀌

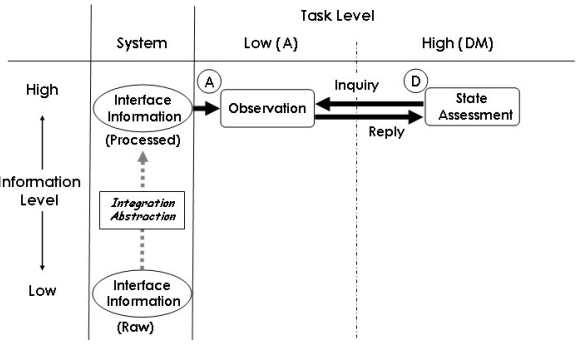

Figure 7. The shifting phenomenon in 'inquiry' that results from additional system processing of information

었다. 이는 과업과 의사소통의 변화가 함께 발생하게 됨을 의미한다. 따라서 인간 사이의 의사소통을 분석대상으로 하는 체계, H-H framework을 포괄할 뿐 아니라 시스템을 매개체로 한 인간과 인간의 의사소통을 분석대상으로 하는, H-H-S framework의 분석도구가 요구된다.

여기서는 전통적 및 신형 원전 주제어실에서 발생한 상황에 대처하는 예제를 통해 새로운 H-H-S framework을 위한 의사소통 분석도구를 간단히 예제로 설명한다(Chung et al., 2009).

Table 2는 주제어실에서 비상운전절차를 수행하면서 나누는 운전원간 대화의 일부를 메시지 유형과 함께 순서대로 나열하고 있다. 표에서 SS는 발전과장, EO는 전력계통 운전원, TO는 터빈 운전원을 지칭한다. 이를 Figure 5에서 제시된 것처럼 운전원 의사소통 내용을 의사결정 단계와 함께 표시하여 위상적 형태의 다이어그램 Figure 8을 얻을 수 있다.

Table 2. Segment of communication in a MCR with message types

	화자	메시지	유형
1	SS	We'll perform the standard post trip action	의도
2	SS	RO, verify the reactor trip and start-up rate	호출, 질의
3	SS	Stop the emergency diesel generator and maintain standby state	명령
	EO	Yepp	승인
4	SS	Verify the primary pressure and temperature	질의
5	EO	The wide range pressure of containment is 529.8cmH_2O and the temperature is 73℃	응답
6	SS	Did the turbine generator trip, TO?	질의
7	TO	Yes	응답

H-H-S framework의 의사소통 분석도구는 Figure 8의

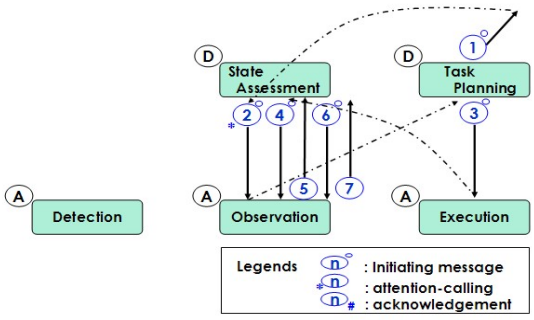

Figure 8. Schematic diagram of the communication of Table 2 constructed with decision-making model

그래픽 표현 통찰을 살리면서도 의사소통 구조와 의사결정 단계의 위상적 형태를 유지하도록 하되, 분석을 위해 시간축에 따라 의사소통의 전개를 표시할 수 있도록 고안하였다. 세 가지 의사소통 경로(상황파악-검출보고, 상황파악-관찰, 과업 계획수립-시행) 각각은 4개의 칼럼(화자(話者), 메시지, 추상화 표시)으로 구성된다. 화자 칼럼은 화자와 말할 때의(의사결정자 또는 과업 지원자) 역할을 표시하도록 고안하였다. 추상화 표시는 시스템에 의한 추상화는 Abs로, 발전과장의 역할반전은 Deabs로, 또 운전원간 공유된 시스템 정보는 별표로 표시하였다.

Figure 8의 인지단계 사이에서 나타난 제어권 이동은 Figure 9의 변환된 녹취록에서 즉각적인 응답이 없는 메시지로 표시되어 있다. 이를 통해서 위상적 표시에서 나타난 특징을 분석도구에 의해 변환된 녹취록에서 용이하게 확인할 수 있다. 그림 9의 하단에는 Table 2의 대화에 없는 내용이지만 정보처리 추상화의 이동 현상을 보여주기 위하여 추가된 내용이 포함되어 있다. 즉, 원자로 운전원(RO)이 과업 지원자가 아닌 의사결정자처럼 역할을 바꾸어 펌프 정지 조건이 충족됨을 판단하여 발전과장(SS)에게 말하는 내용을 표시하였다. 화자로서 RO 표시의 좌측 위치와 추상화 표시 칼럼에서의 'Abs' 표시로 이를 명확하게 알 수 있다. 또한 'Sys*' 표시는 시스템에 의해 제공되는 정보가 운전원들 사이에서 공유되고 있음을 나타낸다.

4. Recent Studies of Communication Analysis in Nuclear Domain

국내 원자력 분야에서 최근 수행되거나 진행 중인 의사소통 연구는 다음과 같다:

4.1 주제어실의 비정상 상황 의사소통 패턴 분석

이 연구는 가압경수로형 full-scope simulator에서 비정상 상황 훈련데이터를 분석하였다. 주요 내용은 운전원의 메시지 유형 분류체계를 대분류 5개 및 상세 분류 18개로 개정하여 의사전달 패턴을 분석하였으며, 3가지 주요 패턴(호출, 질의, 명령)을 보고했다. 또한 질의응답체계나 명령체계의 경우 3-Way 방식으로 정보전달 정확도를 높이도록 권장하고, 주제어실과 현장 대화에 대한 호출체계의 경우 4-Way를 권장하고 있다(Kim and Park, 2009).

Time	State Assessment				State Assessment				Task Planning			
	SA	Det	Message	Abs.	SA	Obs	Message	Abs.	TP	Exe	Message	Abs.
02:00									SS		[We'll perform SPTA]	
02:04					SS		RO, verify reactor trip and start-up rate.					
02:09										SS	Stop EDG and maintain standby state.	Deabs Proc*
02:15										EO	Yepp.	
02:16					SS		Verify the primary pressure and temperature.					
02:16						EO	The wide range pressure of containment is 529.8 cmH2O and the temperature is 73℃					
02:22						SS	Did the turbine generator trip, TO?	Deabs				
02:27						TO	Yes.					
					RO		Stop conditions of HPSI pump are met.	Abs Sys*				
	Detection				Observation				Execution			

Figure 9. Segment of transcript with the H-H-S framework

4.2 주제어실 운전원의 의사소통 유형분석

원전 주제어실 작업현황 관측, 종사자 면담, 질문지 평가 등에 기초하여 의사소통을 분석하였다. 분석결과 운전원들의 의사소통 유형은 3가지(단방향, 양방향, 대각적 분산형)으로 구분 제시하고, 각 유형의 특징, 장단점 및 장애요인을 제시하였다. 현재 의사소통 효율성 평가를 위한 후속 연구를 진행하고 있다(Oh et al., 2010).

4.3 사회망분석 기법을 이용한 원전 운전원의 의사소통 특성 분석

사회망분석(Social Network Analysis) 기법은 수리사회학과 수학의 그래프 이론의 결합시켜 조직 분석, 커뮤니케이션망 분석 등에 응용되고 있다. 이 연구는 사회망 분석(SNA) 기법을 통해 운전원 의사소통의 특성을 의사소통 내용 및 구조 관점에서 시각화하기 위한 목적으로 수행되어 그 타당성이 확인되었다(Park, 2010).

5. Discussion and Conclusion

의사소통 연구의 필요성은 산업의 규모가 커지고 복잡도가 증대되면서 사고가 발생하였을 때 그로 인한 인적 또는 물적 피해를 방지하는데 있다. 항공 분야에서 CRM을 수립하고 교육훈련에 적용하여 기본적인 의사소통 오류에 대비하고 수행도 향상을 추구하는 것처럼 각 산업 분야에서도 의사소통 연구결과가 집대성되어 일차적으로 CRM에 부응하는 표준적인 의사소통 교육훈련 방안이 수립되기를 기대한다. 아울러 새로운 정보시스템의 적용으로 변화하는 운전환경이 초래할 수 있는 의사소통에의 영향 요소들에 대응하는 연구가 필요하다.

항공 분야를 필두로 여러 산업에서 그 의사소통 연구의 필요성이 확인되었다. 그러나 의사소통 연구도 인적 오류 연구와 마찬가지로 관점에 따라 개념과 응용 분야에 따라 다르거나 관심이 개인에서 팀 단위로 확장되고 있다. 여러 형태의 의사소통 연구가 수행되었으나 산업계가 요구하는 실제적인 대안, 즉 구체적인 사례별 사고예방을 위한 방안 도출은 달성하지 못한 상태이다. 수많은 노력이 수반된 정량적 연구들의 결론은 대부분 정성적 분석으로 도출할 수 있는 수준에 머무르는 연구결과를 얻었을 뿐이다. 이제 인적 요소가 포함된 의사소통 연구도 개인 및 그룹의 이해를 활용한 각 산업계의 새로운 시도를 기반으로 목표를 향해 지속적으로 다가가는 연구자들을 기대하게 된다.

References

Chung, Y. H., Min, D. H. and Yoon, W. C., "A Model-Based Framework for the Analysis of Team Communication in Nuclear Power Plants", Journal of Reliability Engineering and System Safety, Vol. 94, no.1, pp. 1030-1040, 2009.

Federal Aviation Administration, "Air Traffic Control Quality Assurance. Appendix 5. Final Operational Error/Deviation Report", FAA Order 7110.56C, 2002.

Gibson, W. H., Megaw, E. D., Young, M. S. and Lowe, E., "A taxonomy of human communication errors and application to railway track maintenance", Cognition, Technology & Work, Vol. 8, pp. 57-66, 2006.

Gladwell, M., "OUTLIER: The Story of Success", Chap. 7, "The Ethnic Theory of Plane crashes", Gimm-Young Publishers, Inc. 2009.

Grayson, R. L. and Billings, C. E., "Information transfer between air traffic control and aircraft: Communication Problems in flight operations", In: Information transfer problems in the aviation system. (Billlings C.E. and Cheanet, E.S. Eds). NASA Technical Paper 1875, 1981.

Hirotsu, Y., Suzuki, K., Kojima, M. and Takano, K., "Multivariate Analysis of Human Error Incidents Occurring at Nuclear Power Plants: Several Occurrence Patterns of Observed Human Errors", Cognition, Technology, & Work, Vol. 3(2), pp. 82-91, 2001.

Hollnagel, E., "Cognitive Reliability and Error Analysis Method(CREAM)", Elsevier, Oxford, UK, 1998.

Kim, S. and Park, J., "Communication Pattern Analysis under Abnormal Conditions in a Main Control Room", Transactions of the American Nuclear Society v.100, pp. 191-192, 2009.

Kim, S. K., Byun, S. N., Lee, D. H. and Jeong, C. H., "Development of a Crew Resource Management Training Program for Reduction of Human Errors in APR-1400 Nuclear Power Plant", Journal of the Ergonomics Society of Korea, Vol. 28, No. 1 pp.37-51, February 2009

Morrison, R. and Wright, R. H., "ATC control and communication problems: An overview of recent ASRS data", In: Proceedings of the Fifth International Symposium of Aviation Psychology, Vol. 2, Columbus, Ohio, 1989.

Murphy, P., "The role of communications in accidents and incidents during rail possessions" In: Harris D(ed), Engineering psychology and cognitive ergonomics, Vol. 5, Aerospace and transportation systems, Ashgate, Aldershot, pp. 447-454, 2001.

Nagel, D. C., "Human Error in Aviation Operations", Human Factors in Aviation, pp. 263-302, 1988.

Navarro, C., "A Method of studying errors in flight crew communications", Perceptual and Motor Skills, 69, pp. 719-722, 1989.

Oh, Y. J., Yun, J. H. and Lee, Y. H., "An Evaluation of the Communication Efficiency of the Main Control Room Operators in Nuclear Power Plants", Proceedings of 2010 Fall Conference of Ergonomics Society of Korea, 2010.

Orasanu, J., Davison, J. and Fisher, U., "What did he say? Culture and language barriers to efficient communications in global aviation",

International Symposium of Aviation Psychology, pp. 673-678, 1997.

Park, J., "The use of a social network analysis technique to investigate the characteristics of crew communications in nuclear power plants - a feasibility study", Journal of Reliability Engineering and System Safety, In-Progress, 2010.

Prinzo, O. V., "An Analysis of Approach Control/Pilot Communications", DOT/FAA/AM-96/26, U.S. Department of Transportation and Federal Aviation Administration, 1996.

Prinzo, O. V. and Britton, T. W., "ATC/Pilot Communications - A Survey of the Literature", DOT/FAA/AM-93/20, U.S. Department of Transportation and Federal Aviation Administration, 1993.

Prinzo, O. V. and Britton, T. W., "Development of a coding form for approach control/pilot voice communications", DOT/FAA/AM-95/15, U.S. Department of Transportation and Federal Aviation Administration, 1995.

Rasmussen, J., "Information processing and human-machine interaction: an approach to cognitive engineering", Elsevier, New York, 1986.

Rasmussen, J., Pejtersen, A. M. and Goodstein, L. P., "Cognitive Systems Engineering", pp. 138-144, John Wiley & Sons, Inc., 1994.

Reason, J. T., "Human error", Cambridge University Press, 1990.

Sasou, K. and Reason, J., "Team errors: definition and taxonomy", Journal of Reliability Engineering and System Safety, Vol. 65(1), pp. 1-9, 1999.

Wilson, R. M., Runciman, W. B., Gibberd, R. W. and Hamilton, J. D., "The quality in Australian health care study", Med. J. Aust., Vol. 163, pp. 458-471, 1995.

Author listings

Yun Hyung Chung: yhchung@kins.re.kr

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

Position title: Head, Education and Training Department, Korean Institute of Nuclear Safety

Areas of interest: Human errors and Communication analysis in nuclear and aviation domain

Date Received : 2011-01-31

Date Revised : 2011-02-11

Date Accepted : 2011-02-12