

소규모 사업장의 지게차 작업에 관한 휴먼에러 분석 사례 연구

하규철¹, 박정철^{2*}

¹한국교통대학교 공정안전관리학과 석사과정, ²한국교통대학교 산업경영·안전공학부 교수

A Case Study on the Human Error Analysis of Forklift Operations in a Small Enterprise

Gyu Cheol Ha¹, Jungchul Park^{2*}

¹Graduate student, Dept. of Process Safety Management, Korea National University of Transportation

²Professor, School of Industrial Management and Safety Engineering, Korea National University of Transportation

요약 지게차는 전동 포크를 이용해 화물을 적재하고 운반하는 용도로 사용되는 산업용 장비로, 지게차로 인한 산업재해는 지속적으로 빈발하고 있다. 이러한 재해의 대다수는 작업자의 불안정한 행동에 기인하는 것으로 알려져 있으나, 지게차 작업에 초점을 두고 휴먼에러 관점에서 위험을 분석한 연구는 찾아보기 어렵다. 또한, 작업의 휴먼에러 위험을 파악하고 분석하기 위한 다양한 기법들이 개발되어 왔으나, 기법 간에 효과성이나 장단점을 직접적으로 비교한 연구는 드물다. 본 연구는 대표적인 휴먼에러 분석 기법인 SHERPA와 HE-HAZOP을 이용하여 지게차 작업에서의 불안정한 행동과 관련된 위험 요인을 분석하고 두 기법의 장단점을 비교한다. 지게차 작업 중 '하차작업', '자재이동 및 적재작업', '상차작업'의 3가지 대표적 작업을 대상으로 분석을 수행한 결과, SHERPA에 의해 118건의 에러와 34건의 개선대책이 도출되었으며 HE-HAZOP를 통해 139건의 에러와 54건의 개선대책이 도출되었다. 휴먼에러 위험 분석의 결과를 바탕으로 두 기법을 결과 건수, 접근방법, 원인분석, 위험성 평가, 개선방안 도출 방식 등 다양한 측면에서 비교하였다. 본 연구의 결과는 지게차를 사용하는 사업장에서 휴먼에러와 관련된 재해 위험을 줄이는 데 활용될 수 있다. 대상 작업과 여건에 맞는 휴먼에러 분석 기법을 선정하기 위한 가이드를 제공하기 위해서는 향후 다양한 작업을 대상으로 보다 많은 휴먼에러 분석 기법에 대한 비교 연구가 필요할 것으로 보인다.

주제어 : 지게차, 휴먼 에러, 불안전 행동, 산업 재해, 인적 요인

Abstract A forklift is an industrial vehicle with a power-operated fork for lifting and moving heavy loads over short distances. A significant number of accidents are caused by forklifts every year. Most of them are known to be caused by the unsafe acts of workers. However, only a few studies have focused on the risks of forklift work from the perspective of human error. In addition, various methods have been developed to analyze the risk of human error, while it is hard to find studies that directly compare the effectiveness or strengths/weaknesses of those methods. This study aims to analyze risk factors related to unsafe behavior in forklift operations using two representative human error analysis techniques, i.e., SHERPA and HE-HAZOP, and compare their advantages and disadvantages. The analysis was performed on three main forklift operations ('unloading from the truck', 'moving and loading into the storage', and 'loading on the truck'). As a result, 118 errors and 34 remedial measures were derived by SHERPA. Through HAZOP, 139 errors and 54 measures were derived. The two techniques were compared in terms of the number of results and the method of deriving errors and remedial measures, cause analysis, and risk assessment. This study might be used to reduce human error related disasters in workplaces using forklifts. In order to provide a guide for choosing an appropriate analysis method, more comparative studies on different techniques involving wide range of tasks are needed in the future.

Key Words : Forklift, Human error, Unsafe act, Industrial accident, Human factor

*Corresponding Author : Jungchul Park(jcpark@ut.ac.kr)

Received February 17, 2021

Accepted May 20, 2021

Revised April 23, 2021

Published May 28, 2021

1. 서론

지게차(Forklift)는 화물을 올려놓을 수 있는 포크와 승강용 마스트를 이용해 화물을 적재, 운반 및 하역하는데 사용하는 운반기계로서, 건설, 제조, 운수, 도·소매업 등에서 널리 사용된다. 국토교통부 건설기계 현황 통계에 따르면 국내 지게차 등록대수는 지속적으로 증가하고 있으며, 2020년 9월 현재 199,819대가 운용 중이다[1]. 엔진식이 아닌 전동식 지게차는 건설기계 등록이 의무화되어 있지 않아 정확한 숫자 파악이 어렵지만 2018년 지게차 실태조사 결과 전체 지게차의 약 49.4% 정도로 파악되어, 약 19만 여대가 운행 중일 것으로 추정되고 있다[2]. 널리 사용되는 만큼 지게차의 재해도 자주 발생하여 Fig. 1에 나타난 바와 같이 지게차 관련 사고는 연간 약 1,100여 건 발생하고 있다. 사망자도 매년 30~40명 정도에 달하여, 지게차는 사망재해 발생 기인물 1순위를 차지하고 있다[2,3].

산업재해의 대다수는 작업자의 불안전행동에 기인하는 것으로 알려져 있다[4]. McSween[5]에 의하면 미국 산업재해의 원인에서 불안정한 행동이 차지하는 비중은 전체의 76% 이상이었다. 국내 지게차 사망재해를 발생 형태, 근로자수 규모, 기인물, 불안정한 상태 및 불안정한 행동 등의 기준으로 분석한 김희근[6]의 연구에 의하면, 사고의 대부분이 작업수행 소홀 및 과실, 절차 미준수, 무모하거나 불필요한 동작 등 작업자의 불안정한 행동에 기인하는 것으로 나타났다. Saric et al.[7]에 따르면 호주 Victoria 주 산업안전청은 지게차 사고 방지에 있어서 작업자의 행동 변화의 중요성을 강조하였다. 그러나, 지게차 작업에 대해 작업자의 불안정한 행동에 초점을 맞춘 연구는 매우 드물다.

작업자의 불안정한 행동을 줄이기 위해서는 작업에 대한 체계적인 휴먼에러 분석이 선행되어야 한다. 작업의 휴먼에러 위험을 파악하고 분석하기 위한 다양한 기법들이 개발되어 왔다. Stanton et al.[8]은 11개의 휴먼에러 분석 기법에 대해 정리하였으며, 안전보건공단[9,10]에서도 7가지 기법에 대해 사업장에서 활용 가능한 기술지침을 제공하고 있다. 이러한 기법들은 정성적/정량적 기법으로 나눌 수 있으며, 주로 개발한 연구진에 의해 기법의 효용성을 검증하는 연구들이 이루어져 왔다. 그러나 동일한 작업을 대상으로 여러 기법을 적용한 연구가 거의 없어, 기법들 간에 효과성이나 장단점의 직접적인 비교가 어렵다. 이는 실무적인 측면에서 유사한 목적을 가진 다수의 기법들 가운데 적합한 기법을 선정하는 데 어

려움으로 작용한다.

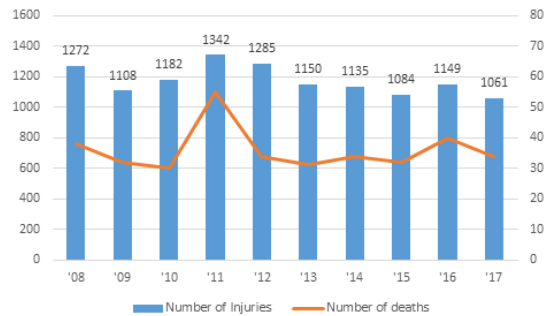


Fig. 1. Number of injuries and deaths from forklift accidents in Korea (2008–2017)

본 연구는 주요 지게차 작업을 휴먼에러 관점에서 분석하여 지게차 작업에 있어서 인적 요인에 의한 재해 위험을 파악한다. 이를 위해, 다수의 지게차를 사용하는 중소기업 A사를 대상으로 주요 지게차 작업을 분석하고, 대표적 휴먼에러 분석 기법인 SHERPA와 HE-HAZOP을 활용하여 잠재적인 휴먼에러의 형태, 결과, 개선방안을 도출하고 두 기법의 분석 결과를 비교한다. 이를 통해, 두 기법의 장단점을 비교하고 작업장 여건에 따른 휴먼에러 분석 기법의 선정에 있어서 유용한 정보를 제공하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 지게차 작업의 안전에 관한 연구

Saric et al.[7]은 호주 Victoria 주의 지게차 재해 발생 트렌드를 분석하여 충돌 사고가 전체의 절반 이상을 차지함을 밝혔다. 신운철 외[11]는 산업안전보건공단의 재해 통계 자료를 활용해 지게차 재해를 업종별, 재해 형태별로 분석하고, 설문을 통한 실태조사 및 외국 기준과의 비교를 통해 산업안전보건 기준에 관한 규칙 개정안을 제시하였다. 한술[12]은 산재요양 신청서를 활용해 지게차 재해에 관련된 재해자 일반 현황, 운행 형태 및 재해원인을 조사하였다. 재해원인을 4M 기법에 따라 분석하고 관련 법 및 기준을 비교, 검토하여 개선대책을 제시하였다. 채종민의 연구[13]도 산재요양 신청서 및 산업재해 조사자료에 근거하여 지게차 재해의 발생원인을 기술, 교육, 관리의 3가지 원인으로 분류하였다. 이 연구에서는 기술적 원인에 대해 제조단계에서의 예방대책을 모

색하고 지게차 설계, 제조 단계에 관련된 국내 안전관리 제도를 국제기준과 비교 및 검토하여 안전성 향상을 위한 방안을 제시하였다. 승우현[14]은 국내의 사망재해 사례 111개에 대해 시스템적 분석 기법을 적용하여 81개의 기여 요인을 수집하고 Rasmussen의 6단계 위험관리 프레임워크로 분류하였다. 분류된 기여 요인간의 인과관계를 사고 분석 도구인 AcciMap을 이용해 도표화하여 지게차 사망사고를 시스템 관점에서 파악하였다.

지게차 운전자는 부적절한 조명과 작업장 설계 및 전면에 적재된 작업물로 인해 시야가 방해받는 일이 빈번한 가운데 다른 작업자와 장비의 이동에 주의를 기울이며 지게차를 운전해야 한다. 여기에 부적절한 작업장 정리정돈 상태와 이동 경로 표시, 심리적 요인 또한 위험요인으로 작용한다[7,15]. 이에 일부 연구자들은 지게차 작업과 관련된 인적 요인에 주목해 왔다. Choi et al.[16]은 VR 환경에서 지게차 운전자의 상황 인식에 관해 연구하였다. 연구 결과, 지게차 운전자의 인근 작업자에 대한 상황 인식은 세부 작업의 복잡도에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다. Solman의 연구[17]는 인간과 기계 간의 상호작용을 분석하는 방법론을 제안하고, 이를 이용해 지게차 작업에서 운전자와 지게차의 상호작용을 분석하였다. Horberry et al.[18]은 사용자 중심의 설계 개선을 통해 지게차와 보행자 간의 위험한 상호작용을 줄이고 작업자와 관리자의 수용도를 향상시키는 연구를 수행하였다. Lehtonen et al.[15]은 지게차 운전자들의 안전에 대한 인식을 높이기 위한 영상 기반의 교육용 게임 콘텐츠를 제안하고 그 효과에 대해 연구하였다. Fattor & Vieira의 연구[19]는 지게차를 비롯해 다양한 장비가 사용되는 폐기물 처리 작업에 대해 인적 요인이 강조된 HAZOP을 실시하고 이를 사전위험분석(PRA)의 결과와 비교하였다. 그러나 이 연구에서는 폐기물 처리 작업 자체에 초점을 맞추었기 때문에 지게차 사용에 관한 별도의 분석은 제시되지 않았다. 지게차 작업에 보다 초점을 맞춘 연구로 Ulutas & Özkan의 연구[20]는 지게차 운전자와 장비 및 작업 환경에 대한 설문과 휴대용 안구추적장치를 통해 얻은 데이터를 통해 지게차 운전자의 위험도를 평가하였다. 그러나 이 연구에서는 운전자의 인지적 작업부하와 근골격계 부담에 주목하였다. 이와 같이 지게차 작업의 인적 요인에 관련하여 다수의 연구들이 수행되었으나, 지게차 작업 자체에 대해 초점을 두고 휴먼에러 관점에서 위험을 분석한 연구는 거의 없었다.

2.2 휴먼에러 위험 분석에 관한 연구

2.2.1 SHERPA

SHERPA는 가장 보편적으로 사용되는 휴먼에러 확인 방법 중 하나로, Embrey[21]에 의해 1986년에 개발되었다. 이 기법은 휴먼에러 분류체계를 활용하여 설계 또는 작업자에 의해 발생 가능한 잠재적 에러를 확인하고 개선대책을 도출한다. 이 기법은 계층적 작업 분석을 통해 얻어진 단위작업들을 Table 1의 행동분류에 따라 분류하고, 대상 단위작업에서 발생 가능한 에러 형태를 찾는다. 확인된 잠재적 에러에 대해 간략한 설명과 해당 에러로 인해 유발될 수 있는 결과, 에러의 결과를 방지하기 위해 현재 취하고 있는 복구방법을 기술한다. 이후, 해당 에러의 발생 확률과 치명도를 서수적으로 평가하고(보통 상, 중, 하의 3단계 서수척도 사용), 장비, 훈련, 절차, 조직으로 구분하여 개선방안을 제시한다.

Table 1. Human Error Taxonomy of SHERPA[21]

Task type	Error code	Error type
Action	A1	Operation too long/short
	A2	Operation mistimed
	A3	Operation in wrong direction
	A4	Operation too little/much
	A5	Misalign
	A6	Right operation on wrong object
	A7	Wrong operation on right object
	A8	Operation omitted
	A9	Operation incomplete
	A10	Wrong operation on wrong object
Retrieval	R1	Information not obtained
	R2	Wrong information obtained
	R3	Information retrieval incomplete
Checking	C1	Check omitted
	C2	Check incomplete
	C3	Right check on wrong object
	C4	Wrong check on right object
	C5	Check mistimed
	C6	Wrong check on wrong object
Selection	S1	Selection omitted
	S2	Wrong selection made
Information communication	I1	Information not communicated
	I2	Wrong information communicated
	I3	Information communication incomplete

2.2.2 HE-HAZOP

HE-HAZOP은 1960년대 후반 영국의 화학기업인 ICI에서 개발되어 화학 공정 산업에서 잠재 위험 발굴에 가장 널리 사용되는 분석기법인 HAZOP을 Kirwan & Ainsworth가 휴먼에러 분석에 적합하도록 변형한 기법이다[22,23]. 이 기법은 Table 2에 제시된 정상으로부터

의 이탈을 나타내는 가이드워드(Guide word)를 각각의 단위작업에 대해 검토하여 발생가능한 잠재적 에러를 찾는다. 확인된 에러에 대해 에러의 결과, 원인과 현재 취하고 있는 안전조치를 기술하고, 에러의 저감에 활용될 수 있는 개선방안을 찾는다.

Table 2. Guide words of HE-HAZOP[23]

Guide word	Description
No	No operation
Repeated	Performed repeatedly
Less than	Performed less/smaller/slower than normal
More than	Performed more/larger/faster than normal
Reverse	Operated in wrong direction
As well as	Performed extraneous work along with normal
Other than	Performed work other than normal
Sooner than	Performed earlier than normal
Later than	Performed later than normal
Mis-ordered	Performed in wrong order
Part of	Performed partly or incompletely

3. 연구 방법 및 절차

3.1 대상 작업

본 연구의 대상이 된 중소기업 A사는 국내 대기업 단 지 내에서 지게차를 사용하여 작업을 하는 협력회사이다. 이 회사에는 25명의 지게차 운전원이 있으며, 국내에서 널리 사용되고 있는 카운터밸런스형 및 리치형 지게차 22대를 운용하여 액체와 기체 형태의 화학물질에 대해 하역작업을 수행한다. 화학물질의 종류에 따라 작업 방법에 차이가 있어 모든 작업에 대한 분석이 불가능한 관계로, 지게차를 활용하는 대표적인 작업인 ‘하차작업’, ‘자재이동 및 적재작업’, ‘상차작업’의 3가지 작업을 분석 대상으로 선정하였다.

3.2 계층적 작업 분석

계층적 작업분석(Hierarchical Task Analysis, HTA)은 복잡한 작업을 이해하고 체계적으로 표현하기 위해 사용되는 가장 대표적인 작업분석 방법이다[24]. HTA는 작업을 목표에 따라 여러 개의 세부작업으로 나누고, 나누어진 세부작업들을 다시 더 작은 작업들로 나누는 과정을 반복하여 작업의 구조를 계층 형태로 표현하는 분석 방법이다[14]. 계층적 작업 분석은 휴먼에러 분석을 수행하기에 앞서 작업의 단계를 상세하게 구분하기 위해 필수적이다. 본 연구에서는 선정된 3가지 지게차 작업에 대해 작업 절차를 활용해 계층적 작업분석

을 수행하였다.

3.3 휴먼 에러 분석 기법

본 연구에서는 휴먼에러 분석을 위해 개발된 다양한 기법들 중 휴먼에러의 체계적 예측 및 저감방법(Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach, SHERPA)과 휴먼에러에 대한 위험과 운전분석 기법(Human Error Hazard and Operability Study, HE-HAZOP)의 2가지 기법을 선정하여 분석을 수행하였다. 추후 확장성을 고려하여 안전보건공단에서 제공되는 기술지침을 통해 사업장의 안전 관리자가 수행절차나 방법을 비교적 쉽게 익힐 수 있는 기법을 선정하였다. 또한, 대부분의 사업장에서 위험의 빈도와 강도에 대한 데이터가 축적되어 있지 않은 점을 고려하여 정량적 기법이 아닌 정성적 분석기법 중에서 선정하였다. 두 기법 모두 안전보건공단의 기술지침에 제시된 8개 단계에 따라 분석을 수행하였다[9,10].

4. 연구 결과 및 토의

4.1 HTA 결과

3가지 대상 작업을 보다 작은 하위 작업으로 구분한 결과는 Table 3과 같다. 세 작업 모두 ‘지게차 작동 및 자재 상태 점검’으로부터 작업이 시작되며, 그 이후 ‘자재이동 및 적재작업’은 ‘하차된 자재를 이동하는 작업’과 ‘자재를 보관장소에 적재하는 작업’으로 구분되며, ‘상차작업’은 ‘상차할 자재를 이동하는 작업’과 ‘차량에 상차하는 작업’으로 구분된다. 각 하위 작업을 세분한 결과 하위 작업 별로 6~15개의 단위 작업이 도출되었다. Fig. 2는 ‘자재이동 및 적재작업’에 대한 HTA 결과를 나타낸다.

4.2 휴먼에러 분석 결과

Table 3의 하위 작업들 중 작업 준비 단계에서 관리감독자에 의해 수행되는 ‘지게차 작동 및 자재 상태 점검’을 제외하고 나머지 작업들에 대해 SHERPA와 HE-HAZOP 분석을 수행하였다. 확인된 주요 에러에는 ‘지게차 포크 상향/하향 혼동’, ‘지게차 전진/후진 혼동’, ‘지게차 포크 대신 마스트를 조작함’, ‘지게차 조향장치를 급선회하여 넘어짐’ 등이 있었다.

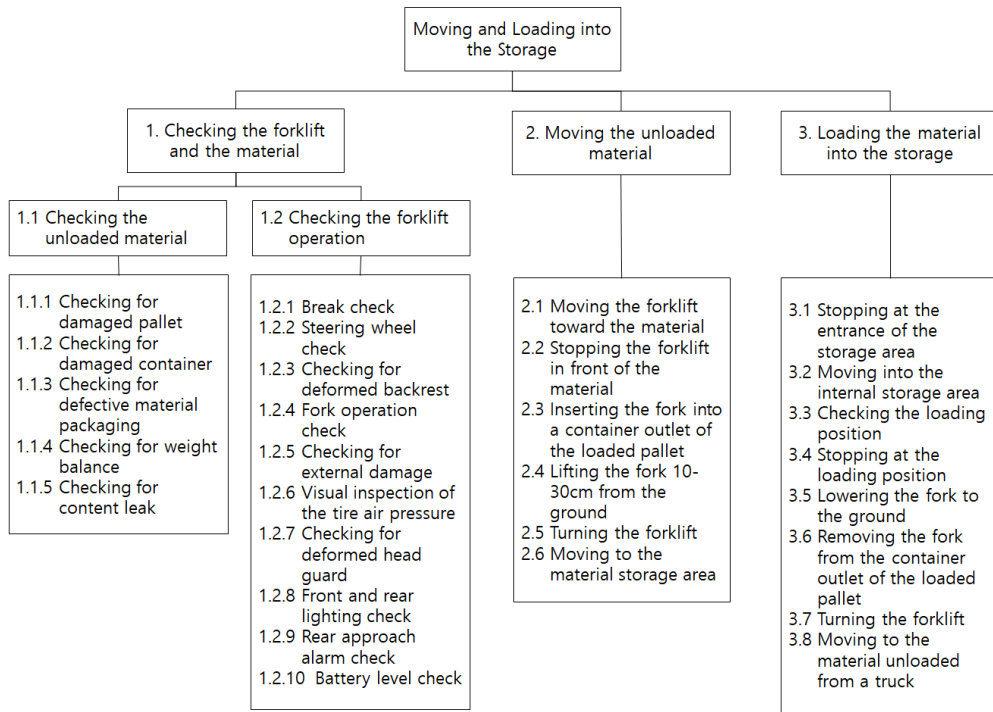


Fig. 2. Hierarchical task analysis result for 'Moving and Loading into the Storage' task.

Table 3. Task classification

Task	Subtasks	# of unit tasks
Unloading from the truck	1. Checking the forklift and the material	15
	2. Unloading the material from the truck	10
Moving and Loading into the Storage	1. Checking the forklift and the material	16
	2. Moving the unloaded material	6
	3. Loading the material into the storage	8
Loading on the truck	1. Checking the forklift and the material	15
	2. Moving the material to load	7
	3. Loading the material on the truck	10

Table 4는 '자재이동 및 적재작업'의 2번째 단계인 '하차된 자재를 이동하는 작업'에 대한 SHERPA 분석의 결과의 일부를 나타낸다. 수행결과 중복을 제외하고 총 9가지 형태의 에러가 확인되었으며, 총 34건(조직 관련 11건, 장비 관련 8건, 훈련 관련 14건, 절차 관련 1건)의 개선대책이 도출되었다. HE-HAZOP 분석 결과의 일부는 Table 5에 제시되어 있다. 분석 결과 중복을 제외하고 16가지 원인에 의한 에러가 확인되었으며, 총 54개의 개선방안이 도출되었다.

4.3 토의

4.3.1 분석 결과 건수

Table 6은 두 기법을 이용한 휴먼에러 분석 결과를 비교한 것이다. SHERPA에 의해 도출된 에러는 총 118 건이었으며, HE-HAZOP에서는 여기에 21건이 추가되어 총 139건의 에러가 도출되었다. SHERPA의 분류 체계가 휴먼에러에만 국한되어 있는 데 반해, HE-HAZOP의 경우 가이드워드가 작업자를 포함해 작업 도구나 대상물 등에도 일부 적용 가능했기 때문에 이러한 차이가 나타난 것으로 파악된다.

4.3.2 분류체계 또는 가이드워드

대상 작업에서 에러를 찾는 과정에서 체계적인 분석을 위해 SHERPA는 휴먼에러 분류체계를 활용하는 반면, HE-HAZOP은 가이드워드를 활용한다. 분류체계와 가이드워드는 모두 휴먼에러 확인에 적합하도록 구성되어 있으며, 두 기법에서 유사한 역할을 수행한다. 차이점은 HE-HAZOP이 단위 작업 별로 모든 가이드워드를 검토하여 발생 가능한 에러를 확인하는 데 반해, SHERPA에서 사용되는 분류체계의 경우, 행동을 먼저 분류한 다음에 행동 분류에 따라 에러 형태를 분류하는 2단계로 구

성되어 있다는 점이다. 따라서, HE-HAZOP의 경우 작업의 성격에 부합하지 않는 많은 수의 가이드워드들을 모두 검토해야 하는 단점이 있다. 반면, SHERPA는 행동 분류의 단계가 추가되어 복잡해 보이는 단점은 있으나, 행동 유형에 적합한 에러 형태에 대해서만 검토를 수행하게 되므로 보다 효율적인 분석이 가능하다.

방안 도출 및 추후 검증·보완에 도움이 될 수 있는 원인 분석 과정이 기록에서 누락된다는 점은 HE-HAZOP에 비해 단점으로 지적될 수 있다. 다만, SHERPA는 이후의 분석 과정에서 개선방안을 4가지 범주로 구분하여 도출하도록 함으로써 원인분석이 없는 단점을 일부 보완이 가능하다.

Table 4. Comparison of the analysis results

Outcomes	SHERPA	Human Error HAZOP
Number of errors identified	118	139
Number of causes identified	-	240
Number of remedial measures	34	54

4.3.3 원인분석의 유무

발생 가능한 에러에 대해 에러를 유발하는 원인을 찾아 기술하는 원인분석은 HE-HAZOP 기법의 수행절차에만 있으며, SHERPA에는 존재하지 않는다. 원인분석은 에러가 발생하는 조건을 보다 더 구체적으로 파악할 수 있게 하며, 개선방안을 찾는 데 도움을 준다. SHERPA는 에러의 형태와 결과에 대해서 기술한 다음 개선방안을 제시하도록 하지만, 에러의 원인을 별도로 기술하지는 않는다. 이는 분석 자체에 드는 시간과 노력을 절감할 수 있다는 점에서는 유리하나, 효과적인 개선

4.3.4 위험성 평가의 유무

SHERPA는 에러의 발생확률과 치명도를 3단계(낮음, 중간, 높음)로 평가하는데 반해, HE-HAZOP에서는 발생확률과 치명도를 평가하지 않는다. 서수 척도를 활용하는 발생확률 및 치명도 평가는 정량적 데이터가 없는 경우 분석자의 주관에 개입할 여지가 크지만, 개선의 우선순위 파악에는 도움을 줄 수 있다. 발생확률 및 치명도는 모든 사업장에서 시행 중인 위험성평가에서 작업의 위험성 결정을 위해 사용되는 빈도 및 강도와 동일하다. 따라서, 분석 결과물을 위험성평가의 결과로 활용하기 위해서는 SHERPA를 사용하거나, HE-HAZOP에 빈도 및 강도 평가를 추가하여 적용할 필요가 있다.

4.3.5 개선방안 도출 방식

두 기법은 공통적으로 에러의 형태, 결과, 개선방안을 모두 포함하지만, 개선방안 도출에 있어서 HE-HAZOP

Table 5. SHERPA results for '2. Moving the unloaded material' task

Task step	Error code and type	Error description	Consequence	Current measure	Probability	Criticality	Remedial strategy
2.1 Moving the forklift toward the material	R2. Wrong information obtained	Moving toward wrong material (material to be loaded)	Loading the wrong material into the storage	None	Medium	Low	Organization: Separating loading/unloading work hours Equipment: Marking the temporary storage area for loading/unloading materials
	A3. Operation in wrong direction	Operate the forklift in the opposite direction of the material to be moved	Moving away from the unloaded material: Time delay	None	Medium	Low	Organization: Separating loading/unloading work hours Equipment: Marking the temporary storage area for loading/unloading materials
2.2 Stopping the forklift in front of the material	A2. Operation mistimed	Applying the break too early	Repeating the act of moving away from the material and closing the gap	None	Medium	Low	Training: Training to work on signalman's signal Procedure: Establishing additional signaling system for work
		Applying the break too late	Material falls due to collision	None	Medium	High	Training: Training to work on signalman's signal Procedure: Establishing additional signaling system for work
2.3 Inserting the fork into a container outlet of the loaded pallet	A1. Operation too long/short	Pressing accelerator pedal too short	Only part of the forklift fork is inserted	Signalman's signal	Low	Low	Training: Forklift pedal operation training Equipment: Mark the forklift fork according to the pallet and container length Procedure: Establishing additional signaling system for work
		Pressing accelerator pedal too long	Forklift hits a pallet or container	Signalman's signal	Medium	Medium	Training: Forklift pedal operation training Equipment: Mark the forklift fork according to the pallet and container length Procedure: Establishing additional signaling system for work

Table 6. HE-HAZOP results for '2. Moving the unloaded material' task

Task step	Guideword	Deviation	Consequence	Cause	Current measure	Remedial strategy
2.4 Lifting the fork 10-30cm from the ground	No	Fork not raised	Fork does not rise	Fork actuator failure; Forklift battery discharged	Check with pre-work checklist	None
	Less than	Operate the fork up lever too short	Material is not raised from the ground	Inexperienced forklift operation; Lack of visibility of the operator	None	Working according to flagman's signal; Forklift lever operation training
	More than	Operate the fork up lever too long	Material hits the top of the vehicle	Inexperienced forklift operation; Lack of visibility of the operator	None	Working according to flagman's signal; Forklift lever operation training
	Reverse	Operate the fork lever in opposite direction	Fork hits the ground	Inexperienced forklift operation	None	Marking directions on the forklift lever
	Other than	Operate lever other than the fork lever	Mast may be tilted towards the forklift	Confusing forklift lever	None	Attaching labels to the forklift lever; Standardizing forklift driver interfaces
2.5 Turning the forklift	No	Forklift not turned	Forklift does not turn	Forklift steering system failure	Check with pre-work checklist	None
	More than	Turning too fast	Forklift falls	Shortage of time; Inexperienced forklift operation	None	Forklift steering operation training; Ensuring sufficient time for work
			Material falls from the forklift	Shortage of time; Inexperienced forklift operation	None	Forklift steering operation training; Ensuring sufficient time for work

기법은 분석자의 판단과 전문지식에 기반하여 원인분석을 수행하고 그에 따른 개선방안을 제시하도록 하되 개선방안 도출에 대해 별도의 가이드는 제공하지 않는다. 반면, SHERPA에서는 장비, 훈련, 절차, 조직의 4가지 범주로 구분하여 대책을 도출하도록 한다. 따라서, 다양한 방향의 개선책을 포괄적으로 고려할 수 있으며, 개선을 담당할 주체도 함께 확인이 가능한 장점이 있다.

5. 결론

본 연구에서는 재해 위험이 높은 지게차 작업 중 3가지 대표적 작업에 대해서 SHERPA와 HE-HAZOP 기법을 활용해 작업자의 불안전 행동과 관련된 위험을 분석하고, 그 결과를 비교하였다. 두 기법을 통해 거의 유사한 형태의 휴먼에러들이 확인되었으나, 기법의 세부적인 특징에 따라 에러의 개수와 도출 방식, 원인 분석 유무, 발생확률 및 치명도 분석 유무, 개선방안 도출 방식 등에 차이가 있었다. 따라서, 대상 작업과 사업장의 특성을 고려하여 적합한 분석 기법을 선택하거나 각 기법의 특징을 조합하여 사용하는 것이 바람직할 것으로 보인다. 분석 기법의 선정 시, 대상 작업의 규모와 복잡성, 투입 가능한 시간과 인력, 원하는 분석 결과의 상세 정도, 위험성 평가의 필요 여부 등에 대한 고려가 필요하다. 대상 작업이 방대하거나 복잡한 경우, 분석에 많은 시간과 노

력을 투입하기 어려운 경우, 분석 결과를 위험성 평가의 결과물로 활용하고자 하는 사업장의 경우는 SHERPA를 선택하는 것이 바람직하다. 반면, 대상 작업이 비교적 간단하거나 적은 경우, 충분한 인력과 시간을 투입할 수 있는 경우, 원인 분석을 포함해 보다 상세하고 포괄적인 분석을 수행하고자 하는 경우, 이전에 HAZOP을 수행한 경험이 있거나 위험성 평가가 필요치 않은 경우는 HE-HAZOP이 보다 적합할 것으로 판단된다.

본 연구는 주요 지게차 작업을 휴먼에러 관점에서 분석한 결과를 제시하였다. 이는 지게차를 사용하는 많은 사업장에서 인적 요인에 의한 재해 위험을 감소시키기 위한 위험성 분석의 수행 시에 참고자료로 활용될 수 있다. 또한, 여타의 사업장 중 대표적인 정성적 휴먼에러 분석 기법인 SHERPA와 HE-HAZOP의 사용을 고려하고 있는 사업장에서 작업과 환경의 특성을 고려하여 기법을 선정하는 데 도움을 줄 수 있을 것이다.

학술적인 측면에서 본 연구는 대표적인 정성적 휴먼에러 분석 기법인 SHERPA와 HE-HAZOP을 동일한 작업에 대해 적용하여 두 기법 간에 직접적인 비교를 수행하고 장단점을 논의한 보기 드문 연구라는 데 의의가 있다. 또한, 화학공학 분야가 다수를 차지해 왔던 SHERPA와 HE-HAZOP 기법의 적용 사례 리스트에 다양한 산업 분야에서 광범위하게 활용되는 지게차 작업을 추가하였다는 데에서도 의의를 찾을 수 있다.

그러나 본 연구는 보안 등의 제약사항들로 인해 하나

의 사업장만을 대상으로 수행되어 다른 작업장으로 연구 결과를 일반화하는 데 한계가 존재한다. 다만, 대상 사업장이 카운터밸런스형 지게차와 리치형 지게차를 모두 운영하고 있으며, 액체와 기체 형태의 화학물질을 하역하는 작업을 포함하고 있기 때문에, 약간의 수정을 거치면 지게차를 사용하는 다른 사업장들에 본 연구의 결과가 유사하게 적용될 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 본 연구에서는 SHERPA와 HE-HAZOP를 제외한 다른 휴먼에러 분석기법들에 대해서는 다루지 않았기 때문에, 대상 작업과 사업장의 특성에 적합한 휴먼에러 분석 기법을 선정하기 위한 충분한 가이드를 제공하였다고 보기는 어렵다.

향후 다양한 사업장과 작업을 대상으로 본 연구에서 다루지 못한 추가적인 휴먼에러 분석기법들을 포함하는 비교 연구를 수행하고, 이를 토대로 적합한 휴먼에러 분석 기법을 선정하기 위한 가이드의 개발이 필요할 것으로 보인다.

REFERENCES

- [1] Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (2020). Statistics of Construction Machinery 2020.9.30.
- [2] KOSHA. (2019). Forklift Work Safety Manual.
- [3] KOSHA. (2019). Half reduction in industrial accident deaths - Forklift Work Safety.
- [4] Dupont. (2011). Annual Safety Culture Report - The values-based safety process.
- [5] T. E. McSween. (2003), *The Values-Based Safety Process: Improving Your Safety Culture with Behavior-Based Safety*, 2nd ed. Hoboken. New Jersey : Wiley.
- [6] H. Kim. (2018). *A Study on the Analysis of Causes of Forklift Accident and Improvement Safety*. Master thesis. Jeju National University, Jeju.
- [7] S. Saric, A. Bab-Hadiashar, R. Hoseinnezhad & I. Hocking. (2013). *Analysis of forklift accident trends within Victorian industry (Australia)*. *Safety Science*, 60, 176-184.
- [8] N. A. Stanton, P. M. Salmon, L. A. Rafferty, G. H. Walker, C. Baber & D. P. Jenkins. (2013). *Human Factors Methods: A Practical Guide for Engineering and Design*. Boca Raton. FL : CRC Press.
- [9] KOSHA. (2017). Guide on SHERPA. KOSHA GUIDE X-72-2017.
- [10] KOSHA. (2017). Guide on Human Error HAZOP. KOSHA GUIDE X-73-2017.
- [11] W. C. Shin, H. S. Rhee & J. H. Park. (2013). Proposed Revision of Standard on Articles for Forklift Trucks in Manufacturing Industries. *Journal of the Korean Society of Safety*, 28(4), 33-37.
- [12] S. Han. (2012). *A Study on Safety Measures through Analyzing the Cause of Accidents in Forklift*. Master thesis. Seoul National University of Science and Technology, Seoul.
- [13] J. Chae. (2013). A Study on Safety Improvement of Forklift Truck. *Journal of the Korean Society of Safety*, 28(4), 91-96.
- [14] W. H. Seung. (2019). *A Study on the Mapping of Contributing Factors of Forklift Truck Safety System through AcciMap*. Master thesis. Seoul National University of Science and Technology, Seoul.
- [15] E. Lehtonen, P. Perttula, I. Maasalo, K. Reuna, H. Kannisto, V. Puro & M. Hirvonen. (2020). Learning game for improving forklift drivers' safety awareness. *Cognition, Technology & Work*, 1-11. DOI : 10.1007/s10111-020-00648-7.
- [16] M. Choi, S. Ahn & J. Seo. (2020). VR-Based investigation of forklift operator situation awareness for preventing collision accidents. *Accident Analysis & Prevention*, 136.
- [17] K. N. Solman (2002). Analysis of interaction quality in human-machine systems: applications for forklifts. *Applied Ergonomics* 33(2), 155-166.
- [18] T. Horberry, T. J. Larsson, I. Johnston & J. Lambert. (2004). *Forklift safety, traffic engineering and intelligent transport systems: a case study*. *Applied Ergonomics*, 35(6), 575-581.
- [19] M. V. Fattor & M. G. A. Vieira. (2019). Application of human HAZOP technique adapted to identify risks in Brazilian waste pickers' cooperatives. *Journal of Environmental Management*, 246, 247-258.
- [20] B. Ulutas & N. F. Özkan. (2019). Assessing occupational risk factors for forklift drivers. *Le Travail Humain* 82(2), 129-149.
- [21] D. E. Embrey. (1986). SHERPA - A systematic human error reduction and prediction approach. *In Paper presented at the National Topical Meeting on Advances in Human Factors in Nuclear Power Systems*.
- [22] T. Kletz (2006). *Hazop and Hazan*, 4th ed. Taylor & Francis.
- [23] B. Kirwan & L. K. Ainsworth. (1992). *A Guide to Task Analysis*. London : Taylor and Francis.
- [24] A. Shepherd. (1998). HTA as a framework for task analysis. *Ergonomics*, 41(11), 1537-1552.

하 규 철(Gyu Cheol Ha)

[정회원]



- 2014년 2월 : 인천대학교 안전공학과 (학사)
- 2020년 2월 : 한국교통대학교 공정한전관리학과 (석사)
- 2014년 11월 ~ 현재 : 삼구아이앤씨
- 이천사업장 안전관리자
- E-Mail : du2kai@naver.com

박 정 철(Jungchul Park)

[정회원]



- 2007년 2월: 포항공과대학교 산업경영공학과 (공학박사)
- 2007년 3월 ~ 2008년 2월 : 삼성전자 디자인경영센터 책임연구원
- 2008년 3월 ~ 현재 : 한국교통대학교 안전공학과 조교수, 부교수, 교수
- 관심분야 : 인적오류, 인간-컴퓨터 상호작용, 안전문화 등

· E-Mail : jcpark@ut.ac.kr