

## 용접인력양성을 위한 가상용접훈련 시뮬레이터 효과성 분석

최유진\* · 김중영\*\* · 신상호\*\*\* · 김상열\*\*\*\*,†

\* (주)토탈소프트뱅크

\*\* 한국폴리텍 V 대학 익산캠퍼스 산업설비과

\*\*\* (주)토탈소프트뱅크 의공학연구소

\*\*\*\* 부산대학교 국제전문대학원

### A study on the analysis effectiveness of the virtual welding simulator for welding manpower development

Eugene Choi\*, Jung-Yeong Kim\*\*, Sang-Ho Shin\*\*\* and Sang-Yeol Kim\*\*\*\*,†

\*Total Soft Bank Ltd., 66-39, Bansong-ro 513beon-gil, Haeundae-gu, Busan 612-070, Korea

\*\*Korea Polytechnics Iksan, Seonhwa-ro 579, Iksan 570-210, Korea

\*\*\*Bio-medical Engineering Institute, Total Soft Bank Ltd., Daegu 701-730, Korea

\*\*\*\*GSIS, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

†Corresponding author : ksy@pusan.ac.kr

(Received October 28, 2014 ; Accepted May 28, 2015)

#### Abstract

Welding is one of the most fundamental and necessary work in the industry that demand sophistication of skilled workers. This study is to introduce welding simulator as a training tool, to verify its effectiveness and to measure satisfaction of the trainees. A group of freshman students at a Korea Polytechnics College in their twenties with less experience of welding participated in the study. They were divided into two groups and took a traditional training course (comparison group) and a training course with welding simulator applied reality/haptic technology (experimental group) for same hours respectively. To evaluate training effect, a national certificate test and a survey based on Phillips' ROI (Return on Investment) methodology were conducted by the students and the college respectively. And satisfaction survey among the students based on Kirkpatrick's Four-Level Evaluation Model was also carried out. The results showed that all students in the experimental group passed the national certificate test and the ROI of the experimental group for five years were 110% higher than the comparison group. Furthermore, 25% more students in the experimental group replied "very satisfied" about the overall training course and 75% more students in the same group found that the simulation was very similar to the real welding.

Key Words : Virtual welding simulator, Welding education

#### 1. 서 론

용접은 조선, 자동차 건설, 제조 산업 등 산업 전반에 활용되며, 국가에서는 용접을 뿌리산업으로 지정하여 경쟁력 있는 기술 산업 발전을 위하여 지원하고 있다.

뛰어난 용접인력 양성을 위하여 공업계 고등학교, 마이스터 고등학교, 폴리텍 대학 등에서 기능인력 교육을

진행하고 있다. 일반적인 용접교육은 이론수업 및 실제 장비를 활용한 실습 훈련 방식으로 이루어져 있다. 하지만, 초보 실습자에게는 가스중독, 섬광, 피부화상, 각결막염 등의 사고 위험으로 인하여 적응에 어려움이 있으며, 실습 훈련을 진행하기 위하여 지속적으로 소모되는 용접봉, 가스, 모재(철판) 등의 비용에 대한 비용 부담이 있다. 훈련 후 평가에 있어 훈련자 스스로의 정확한 분석이 어려워 훈련 시간에 한정 되는 현행 교육

의 한계점이 있다.

용접 작업을 수행하는 용접 기술자는 산업 현장 훈련원과 직업 교육 학교에서 양성되지만 용접 훈련 과정은 실습 초보자에게 위험하고, 장시간 교육하기에 어려울 뿐 아니라 재료 낭비, 의사소통의 한계, 즉석 결과 평가의 한계, 공간 부족 등 다양한 문제가 있다. 그러므로 안전하고 반복적인 실습 환경을 제공하고 장시간 및 다수 교육 참여 지원 등이 가능한 시스템을 구축하여 숙련된 우수 인력 조기 확보와 훈련비용을 절감할 필요가 있다<sup>1)</sup>.

이러한 한계점을 보완하기 위하여 다양한 훈련 분야에서 가상현실을 도입한 기능인력 양성이 진행 중에 있다. 일반적인 사물이나 상황을 가상의 상황으로 구현한 것을 가상현실이라고 한다. 최근 실감형 인터페이스 기술을 활용하여 현실감과 몰입도는 더욱 증가하고 있다. 가상현실을 응용하여 항만, 항공, 국방, 의학, 우주, 제조 산업의 장비 훈련에 활발히 응용되고 있다. 초기 가상현실 장비 교육은 고가의 장비 중심으로 활용되어져 왔으며 현재 용접 및 다양한 체험교육으로 확대되고 있다. 가상현실을 통해 어려운 실험 실습 과정을 교육할 경우 반복적이면서 원하는 방향으로 관찰이 가능하며 다양한 시각적 효과를 통해 효율적인 교육을 할 수 있다는 장점을 가지고 있어 교육 분야에서 사용되고 있다. 또한 가상현실 기반 시뮬레이터는 교육 목표에 따라 시나리오를 만들 수 있고 반복적으로 연습할 수 있으며 학생들의 수행능력을 평가할 수 있는 지표로 사용될 수 있다는 장점이 있다<sup>2)</sup>.

본 연구에서 사용하는 가상용접 시뮬레이터는 기존 용접교육에서 발생하는 비용요소와 유해적 측면을 최소화하여 실제 교육과 유사한 효과를 제공에 목적이 있다. 이는 e-트레이닝의 일환으로 시뮬레이터 교육의 효과성을 향상시켜 향후 뿌리산업에서 시뮬레이터를 활성화하기 위함이다.

본 연구에서는 용접 관련 산업에 취업을 목적으로 하는 기술직업 전문대학 학생을 대상으로 가상 용접 시뮬레이터를 통한 교육훈련의 실효성 분석과 이에 따른 효과성을 검증하기 위한 연구를 진행하고자 한다.

## 2. 가상 용접 시뮬레이터 시스템

본 연구에 사용된 실험기재로는 Photo 1과 같이 (주)토탈소프트뱅크의 가상 용접 시뮬레이터를 효과성 분석도구로 사용하였다. 가상 용접 시뮬레이터 시스템은 FCAW (Flux Core Arc Welding)을 지원하여 본



Photo 1 s-Welding virtual simulator training

연구의 실제 FCAW 용접기와 비교 가능하다.

용접봉의 정확한 위치를 파악하기 위하여 토치에 모션 센서를 설치되어 있으며, 좌측 상단의 모션 추적 카메라를 설치하여 토치의 위치를 파악 할 수 있다. 중앙 디스플레이에 모제의 형상이 나타나며 가상 용접을 실시하도록 되어 있다. 디스플레이는 수평보기, 아래보기 등의 자세를 지원하기 위하여 탈부착이 가능하도록 제작되어 있다. 실습 디스플레이 외 별도의 터치스크린에서는 사용자 인증, 실습 선택 및 결과 화면을 볼 수 있다.

피복아크용접 홀더 용 햅틱장치 및 헤드 위치 인식 장치가 장착되어 교육자가 용접 대상물과 용접봉 사이의 적당한 간격을 인지할 수 있도록 진동 및 사운드가 제공된다. 용접 기술에 있어서 용접 대상물과 용접봉 사이의 일정한 간격을 유지하여 작업을 진행하는 것은 중요하다. HMD (Head Mounted Display) 착용 시 3D 입체영상으로 아크 불꽃, 연기 및 스페터 등 사실적인 시뮬레이션 환경을 제공한다.

실제 장비 훈련에 있어서 훈련의 성과에 대한 평가는 주로 감독관의 주관적인 판단에 의하여 이루어진다. 이러한 한계를 개선하는 방안으로 본 실험 장비는 작업각과 진행각, 속도, 아크길이, 작업 경로에 대한 평가를 제공하며, 실습자가 토치를 이용하여 기준에 맞게 훈련을 수행하였는지를 확인할 수 있다. 비드 높이, 넓이, 시점 처리, 종점 처리의 경우, 실습자가 비드를 어떻게 쌓았는 지와 비드의 미려도를 이용하여 평가를 수행한다. 각 평가 항목별로 점수 환산 알고리즘을 적용하여 점수를 환산하였으며, 환산된 점수 정보를 이용하여 실습자를 평가한다. 위보기, 아래보기, 수평보기 등의 자세지원과 학습자의 훈련결과가 database에 저장되어 훈련 결과 관리가 가능하다.

### 3. 실험 방법

#### 3.1 효과성 분석 평가 모델

본 연구 목적을 달성하기 위해 Kirkpatrick이 개발한 반응(reaction), 교육(training), 현업 적용(job application), 결과(result)의 4단계 평가 모델을 이용하여 교육의 전, 후 시뮬레이터 교육과 실제 교육을 동일한 시간 내 교육 하였을 경우 설문, 교육의 실습 채점과 비용 비교를 통한 실제 교육만큼의 효과성 및 그 원인을 실증적으로 검증하고자 한다. 또한 Kirkpatrick (1998)<sup>3)</sup>의 평가모델에서 한계점을 보였던 투자결과 부분을 보완하기 위하여 Phillips(1998)<sup>4)</sup>의 ROI 모델을 추가하였다.

Phillips의 모델은 Kirkpatrick의 원래 모델과 유사하지만 마지막 단계에 ROI (교육 프로그램에 대한 투자 수익률)을 추가하여 실제 교육 후 효과성을 산출했다. 연구의 과정은 Fig. 1과 같이 정리 하였다.

#### 3.2 실험 방법

본 연구에 참여를 허락한 학생은 한국폴리텍 대학에 입학한 학생 중 총 58명을 무작위로 두 그룹으로 나눴다. 연구대상자는 Table 1과 같이 대부분이 20대로 구성되었으며, 용접관련 업체 종사 경력도 신입 수준(전혀 없음)이거나 1년 미만의 경력자들로 설정하였다.

#### 3.3 실험 적용

모집단중 표본으로 선정된 Table 2와 같이 '실험군', '대조군' 두 그룹에 대하여 각각 총 40시간(주당 2회 각 2시간씩 10주 과정)의 교육 과정동안 총 4회 평가를 실시하여 연구 결과를 분석하였다.

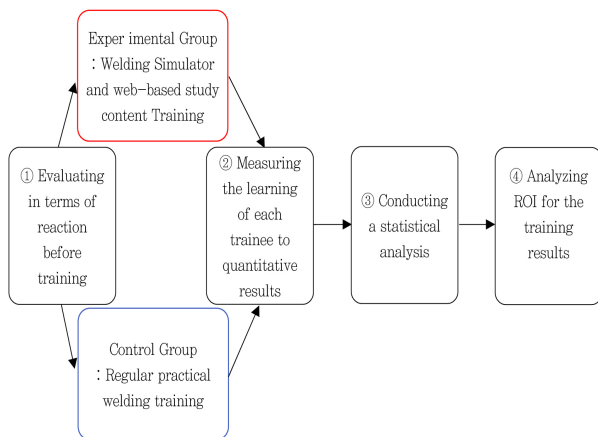


Fig. 1 The process of study

Table 1 The object of study

Item		Sample (58 persons)	
		Experimental group (29)	Comparison group (29)
Age	Teenage	-	3(10.3%)
	Twenty	29(100%)	26(89.7%)
Work experience related to welding	NO	27(93.2%)	24(82.8%)
	YES	2(6.8%)	5(17.2%)
Length of work experience related to welding	Under 1 year	1(50%)	5(100%)
	1 year~ 2 year	1(50%)	-

Table 2 The curriculum of each groups

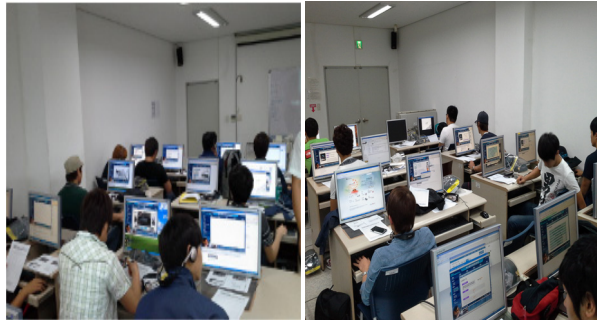
Item	Experimental group (29 persons)	Comparison group (29 persons)
Basic theory	Web-based training	
Welding practice	Virtual welding simulator	FCAW (Flux core arc welding)
Test	FCAW (Flux core arc welding)	

##### 3.2.1 이론 학습

이론 학습은 실험군, 대조군 모두에게 웹기반 용접실습을 실시하였다. 학습과정은 총 20차시(차시당 60분)로 구성되었으며, 학습목표 및 내용은 아래 Table 3과 같이 구성하였으며 Photo 2와 같이 각 그룹 별 이론 수업 장면을 정리하였다.

Table 3 The contents of web-based training

Contents		Times
Outline	• Set-up and operate welding machine	1
Flat position	• Straight bead welding • Straight bead combining • Straight bead inspection • Handling the Arc Strike and the Crater • Adjusting current-voltage • Straight bead technique (stringer, weaving)	8
Horizontal position	• Bead welding • Bead combining • Bead inspection • Bead technique (stringer, weaving)	5
Vertical position	• Bead welding • Bead combining • Bead inspection • Bead technique (stringer, weaving)	5
Final	Final Test	1
Total		20



(Experimental group) (Comparison group)

**Photo 2** Web-based welding training

3.2.2 용접 실습 훈련

웹기반 용접이론 및 실습 후 심화학습과정으로 Photo 3과 같이 실험군은 가상용접훈련 시뮬레이터를 이용하여 훈련을 하였으며, 대조군은 일반적인 교육과 동일한 방식으로 실제 장비를 이용한 훈련을 진행하였다. 훈련 후 실 용접을 통해 최종 효과성을 분석 하였다. Table 4와 같이 동일한 훈련 콘텐츠를 구성하여 외생변수를 통제하도록 하였다.



(Experimental group) (Comparison group)

**Photo 3** Welding practice

**Table 4** The contents of virtual welding training

Contents		Times
Flat Position	<ul style="list-style-type: none"> <li>Travel speed/CTWD/Work angle/Travel angle/Stringer (drag, whip)</li> <li>Handling the arc strike and the crater</li> <li>Adjusting current-voltage/circles/crescent/zig zag/</li> </ul>	19
Horizontal Position	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fillet/Groove - stringers (small weave may be used in tight place)</li> <li>Bead placement - bottom to top</li> <li>Adjusting current - voltage</li> </ul>	8
Vertical Position	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fillet/Groove - stringers (small weave may be used in tight place)</li> <li>Bead placement - bottom to top</li> <li>Adjusting current - voltage</li> </ul>	11
Total		38

3.2.3 훈련 평가

훈련 과정을 통해 습득한 지식, 기능, 태도의 현업 적용도를 평가하는 단계로써 교육생이 교육받은 내용을 현업에서 실제 적용하는지의 여부와 업무 환경이 교육을 통해 습득한 지식, 기능, 태도를 실제 적용, 지원여부를 평가하였다. 평가 데이터는 2개(실험군/대조군) 그룹이 수행한 최종 평가 결과를 활용하여 실제 국가자격증인 용접기능사 실기시험의 평가기준을 바탕으로 현업 적용도를 비교 분석 하였으며 본 교육과정의 만족도를 설문문을 통하여 분석하였다.

4. 실험 고찰

4.1 실험 성취도 평가

교육훈련 후 교육생들의 반응도를 측정한 설문결과, 전반적인 만족도를 묻는 질문에 있어서 Table 5와 같이 실험군(4.2414)이 비교군(4.0690)에 비해 평균적으로 매우 만족하는 응답에 가까운 것으로 판단되었다.

가상 용접 시뮬레이터가 주었던 도움에 대한 복수 응답 가능 질문에서는 Table 6과 같이 '냄새와 유해가스가 없어 실습환경이 좋았다'는 응답이 19%로 가장 높았으며, 두 번째로는 '용접 자세를 익히는데 도움이 되었다'는 응답이 15%를 확인할 또한 '용접 종류에 따라 다르게 처리해야 하는 상황을 익힐 수 있는 기회가 되어 좋았다'는 14% 답변도 확인하였다.

다음은 가상 용접 시뮬레이터의 개선점들에 대하여 설문응답 결과이다. Table 7과 같이 시뮬레이터의 개선점에 있어서 모재 재질에 대한 차이와 모재 두께에 대한 차이가 확인하기 어렵다는 응답이 각 22%, 19%로 나타났다. 또한 용접 진동과 시뮬레이션 느낌이 실제와 상

**Table 5** Satisfaction after the training

Scale	(person/%)	
	Experimental group	Comparison group
1. Not at all Satisfied	1(3.4%)	-
2. Somewhat Satisfied	2(6.9%)	-
3. Moderately Satisfied	2(6.9%)	8(27.6%)
4. Very Satisfied	8(27.6%)	11(37.9%)
5. Completely Satisfied	16(55.2%)	10(34.5%)
Total	29(100%)	29(100%)
Mean	4.2414 (±0.20254)	4.0690 (±0.14832)
Standard Deviation	1.09071	0.79871
Variance	1.190	0.638

**Table 6** Advantage of welding simulator for experimental group

Strength	Sample size	Ratio
Good training environment owing to no odor or harmful gas	20	19%
Being practical help in learning posture of welding	16	15%
Being Effective learning in accordance with types of welding	15	14%
Being of help for improvement by adequate feedback after welding	13	12%
Easy practice (contact) of welding owing to a variety of contents	13	12%
Being helpful to practice various type of base metal	10	10%
Being helpful to distinguish thickness of base metal	8	8%
Being capable of discerning quality of different types of base metal	7	7%
Nothing useful	3	3%
Total	105	100%

\* This question could be answered plurally.

**Table 7** Unsatisfactory point of welding simulator for experimental group

Improvement point	Sample size	Ratio
No difference in quality of base metal found	14	22%
No difference in thickness of base metal found	12	19%
Nothing to improve	9	14%
Welding vibration	8	13%
Difficulty in learning posture of welding due to unfamiliarity	5	8%
Insufficient feedback after welding	5	8%
Uncomfortable posture of training for variety of contents	4	6%
Difficulty in familiarization due to gap between composed content and real environment	4	6%
No difference found in every type of welding	3	5%
Total	64	100%

\* This question could be answered plurally.

이하되는 응답이 13%였으며, 응답 결과 향후 모재 및 햅틱 기술 적용에 대한 개선 점을 확인할 수 있다.

#### 4.2 현업 적응도 평가

본 연구의 교육 종료 후 국가자격에 해당하는 준하는

**Table 8** Result of practical test

Group	Total (person)	Pass (person)	Drop (person)	Ratio of pass
Experimental group	29	29	0	100%
Comparison group	29	28	1	96%

**Table 9** A Comparative table of practical test

Item	Experimental group	Comparison group
Weld Face	6.54	7.36
Bead Width	6.38	6.86
Bead Height	6.15	6
Wave/Straight	6.31	5.93
Weld Pass	6	6.21
Undercut	8.38	8.93
Overlap	7.46	8.36
Incomplete Joint Penetration	7.46	7.36
Joint	7.46	7.86
Arc Strike	7.15	8.07
Crater	8	8.14
Total	77.31	81.07

11개 항목을 대상으로 평가하였다. 그 결과, 합격 비율 면에서 가상 용접 시뮬레이터를 활용한 실험군은 100% 합격한 반면, 비교군은 96%의 합격률의 결과가 나왔다. 이는 개인별 능력차가 존재하겠지만 시뮬레이터를 활용하더라도 실제 평가에 도움이 되었고 실제 용접 수업 결과보다 조금 더 나은 결과가 나왔음을 확인 할 수 있었다. 이러한 결과를 간략하게 Table 8과 같이 표로 정리하였다.

평가 항목별 평균을 비교한 결과 아래의 Table 9과 같이 실험군 총점의 평균은 77.31점, 비교군은 81.07으로 비교군이 더 높은 점수를 받았음을 확인 할 수 있다. 실험군의 평균이 비교군의 평균보다 낮은 원인으로서는 가상 용접 시뮬레이터의 개선점의 설문 결과에서 확인 된 실제 용접과는 다른 점이 가상 용접 시뮬레이터 교육의 한계점으로 볼 수 있다. 하지만, 두 그룹의 근사한 점수가 도출된 점, 최저 합격점 70점 보다는 높아 본 연구의 최소치 기준은 달성한 점을 통해 가상 용접 시뮬레이션 교육은 실제 용접교육과 실제 적용면에서 커다란 차이를 보이지 않는 것으로 도출되었다.

### 4.3 교육비용 절감효과(ROI) 평가

본 연구의 ROI(Return on Investment, 투자대비 수익률)<sup>5)</sup>을 산출하여 교육비용 절감효과를 검증하였다. ROI는 식 (1)을 적용하였으며, 실험군, 대조군의 투자비용 대비 순이익의 비율을 각각 1년, 2년 기준으로 산출하여 비교하였다.

$$ROI = \frac{\text{순이익(운영수익 - 비용)}}{\text{비용(초기 + 고정 + 가변 + 분할)}} \times 100 \quad (1)$$

실험군 가상시뮬레이터 투자비용에는 Table 10과 같이 초기 비용과 고정 비용으로 구분하여 산정하였다. 초기 비용은 가상 용접 시뮬레이터 기반 훈련교육을 위해 구축한 웹 이론교육 및 콘텐츠, 가상 용접 시뮬레이터 도입 비용 등이 포함 된다. 고정 비용이라 함은 하

**Table 10** Investment cost of experimental group

Investment cost		Cost (1k KRW)
Initial cost	Learning Management System	10,000
	Development Cost of Contents	20,000
	Training Computer	36,000
	Virtual Welding Simulator	110,000
Fixed cost	Rental Cost for Internet Data Center per Year	7,000
	Lecture Fee	13,704
Total		196,704

**Table 11** Investment cost of comparison group

Investment cost		Cost (1k KRW)
Initial cost	Welding Machine	37,500
	Wire Feeder	5,250
	CO <sub>2</sub> Container	3,000
	CO <sub>2</sub> Gauge	1,050
	CO <sub>2</sub> Welding Torch	1,800
	Ground Clamp	225
	Helmet	450
	Individual Protective Equipment	1,200
	Worktable	4,500
	Others	12,000
Fixed cost	Consumable Material (Base Metal, Welding Rod, Gas etc.)	88,494
	Lecture Fee	13,704
Total		169,173

드웨어 및 소프트웨어 사용에 따른 연간 임대비용 및 본 교육에 소요된 강의료가 포함 된다.

대조군 투자비용의 초기비용은 Table 11과 같이 한 그룹별 수업에 필요한 15대 기준의 용접 장비 도입비용, 고정비용에는 15대의 수업에 필요한 소모성 재료(모재, 용접봉, 가스 등)를 1년 40주 수업 기준으로 산정한 금액이다.

운영수익은 본 연구의 대상의 1학기 등록금 1,142,000원을 기준으로 1년의 수익을 구하였으며, 정부의 지원금 및 기타 수익은 제외하였으며, Table 12와 같이 정리 하였다.

운영 1년을 살펴보면 가상 용접 시뮬레이터 도입 기 초금액이 비싼 이유로 대조군이 약 11% ROI 비율이 높을 것을 확인할 수 있다. 하지만, 운영 2년차에는 실험군의 ROI비율이 대조군보다 약 20% 높아지며, Table 13 및 Fig. 2와 같이 차이가 벌어짐을 확인할 수 있다.

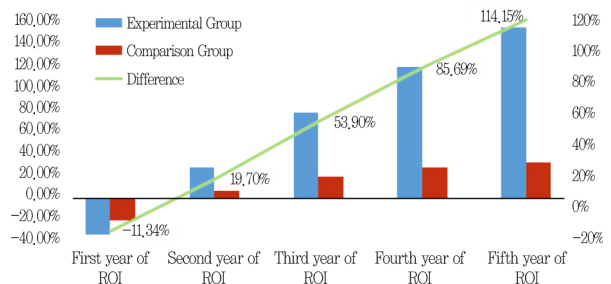
상기와 같은 이유는 실험군의 가상 용접 시뮬레이터 단가 비용이 높아 초기 ROI 비율이 대조군의 실제 용접 교육 도입비용보다 높지만, 실제 용접은 매 실습마다 필요한 소모성 교보재(모재, 용접봉, 가스, 전기 등)의 비용이 고정비용으로 지출됨으로써 운영을 할수록

**Table 12** Operating revenue of comparison group

Operating revenue	Cost (1k KRW)
Tuition for 1 year	137,040

**Table 13** Chronological change of ROI

Year	Experimental group	Comparison group	Difference
First year of ROI	-30.33%	-18.99%	-11.34%
Second year of ROI	26.07%	6.37%	19.70%
Third year of ROI	72.66%	18.76%	53.90%
Fourth year of ROI	111.80%	26.11%	85.69%
Fifth year of ROI	145.13%	30.98%	114.15%



**Fig. 2** Chronological change of ROI

ROI 비율 가상 용접 시뮬레이터의 ROI보다 낮음을 확인할 수 있었다. 이와 반대로 가상 용접 시뮬레이터는 도입 후 수업 콘텐츠가 저장되어있는 데이터베이스 임대료 만 고정비용으로 소비되며 소모성 기자재는 반영구 적으로 사용하여 실제 용접 교육보다 저렴한 운영비용이 지출된다. 이로 인해 장기적이며 연속적인 측면을 고려했을 할 경우, 가상 시뮬레이터 교육이 더욱 효과적이라는 결과를 도출할 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구는 향후 뿌리산업에 투입될 용접기술인력 양성 의 일환으로 가상 시뮬레이션을 이용한 인력교육의 효과성과 만족도를 측정하기 위해 실시되었다. 이를 위해 20대로 구성된 초보수준의 대학생들을 대상으로 한 시범 교육결과, 전체적인 만족도는 높았으며, 특히 시뮬레이터를 사용한 실험군이 대조군에 비해 약 25% 이상인 "매우 만족"의 응답을 보였다. 또한 가상 용접 시뮬레이터의 실습이 실제 용접과의 유사성에 있어서도 실제 용접과 동일한 느낌이나 유사한 느낌이었다는 응답이 약 75%로 나와 가상용접 시뮬레이터를 이용한 교육이 일반 용접교육과 거의 유사하다는 효과를 검증할 수 있었다.

학업 성취도에 있어 학습을 따라가기에 어려움이 없었으며, 자격증 시험에 준하는 기준에 맞추어 진행된 평가에서 실험군 훈련생이 평균 점수에서는 대조군보다 약 3점 낮은 결과를 보였으나 합격 기준에 100%가 시험을 통과한 결과를 낳아 대조군보다 높은 결과를 확인할 수 있었다. 현장 적용도의 경우 현업 종사와 자격증 취득, 그리고 취업을 위해서도 매우 도움이 되었다란 응답이 어느 정도 도움이 되었다는 응답보다 2배 이상 높은 반응을 확인할 수 있었다.

교육비용 절감효과를 검증하기 위하여 실험군, 대조군 각각의 투자수익률(ROI; Return on Investment) 분석에 있어서도 1년부터 5년 운영 시 가상 용접 시뮬레이터를 운영했을 경우 -30.33%, 26.07%, 72.66%

111.80%, 145.13%로 증가하는 반면 실제 용접 교육 운영의 경우에는 -18.99%, 6.37%, 18.76%, 26.11%, 30.98%의 증가추세를 보임으로써 운영 5년의 경우 약 110% 이상의 차이 보였다. 이는 실험군의 가상 용접 시뮬레이터가 지속적인 경제 이익도 거둘 있었다. 초기 교육 시설 투자에 있어서 가상 용접 시뮬레이터 초기 비용이 실제 용접 실습 교육실을 구축비용 보다 높게 소요되지만, 대조군의 실습수업에 필요한 기본 기자재 용접가스, 전기, 모재 철판 등의 비용이 꾸준히 발생하여 누적됨으로써 투자수익률 측면에서는 상대적으로 비효율 적임을 확인할 수 있었다.

종합적으로 본 연구에서는 가상 용접 시뮬레이터 교육이 실제 용접과 거의 유사한 교육성적을 창출하는 것을 알 수 있었으며 안전도와 금액적인 측면에서는 오히려 실제 용접에 비해 긍정적인 것으로 나타났다.

## References

1. Dong-Sik Jo, Yong-Wan Kim, Ung-Yeon Yang, Gun A. Lee, Jin-Sung Choi and Ki-Hong Kim, Virtual Reality Based Welding Training Simulator, *Abstract of KWJS*, 53 (2010), 49-49 (in Korean)
2. Eun-Young Jung, Evaluation of Practical Exercises Using an Intravenous Simulator Incorporating Virtual Reality and Haptic Technologies, *The Graduate School, Ajou University*, (2011), 1-10 (in Korean)
3. D. Kirkpatrick m, Great ideas revisited, *Training & Development*, 50-1 (1996), 54-59
4. J. Phillips, Return on Investment : in training and performance improvement programs, *Gulf Publishing Company*, (1997), 42-47
5. R. Reiser, J. Dempsey, Trends and issues in Instructional Design and Technology, *Upper Saddle River*, (2002), 336-341
6. Eugene Choi, A study of the training and development effectiveness for domestic manpower of port using the virtual welding simulator, *Graduate School of International Studies, Pusan National University*, (2013), 37-40 (in Korean)