

## 뉴럴 네트워크 알고리즘을 이용한 비드 가시화

구창대\* · 양형석\* · 김중영\*\* · 신상호\*\*\*,†

\*한국폴리텍VI대학 산업설비학과

\*\*한국폴리텍V대학 산학협력팀

\*\*\*[주]도탈소프트뱅크 의공학연구소

### Using Neural Network Algorithm for Bead Visualization

Chang-Dae Koo\*, Hyeong-Seok Yang\*, Jung-Yeong Kim\*\* and Sang-Ho Shin\*\*\*,†

\*Dept of Automation of Industrial Installation Korea Polyteching VI College, Daegu 703-721, Korea

\*\*Korea Polyteching V College Iksan Campus, Iksan 570-210, Korea

\*\*\*Dept of Bio-medical Engineering Institute TOTAL SOFT BANK LTD. Busan 600-755, Korea

†Corresponding author : shinsky@tsb.co.kr

(Received ; June 14, 2013 ; Revised July 22, 2013 ; Accepted October 16, 2013)

#### Abstract

In this paper, we propose the Tangible Virtual Reality Representation Method to using haptic device and feature to morphology of created bead from Flux Cored Arc Welding. The virtual reality was started to rising for reduce to consumable materials and welding training risk. And, we will expected maximize virtual reality from virtual welding training. In this paper proposed method is get the database to changing the input factor such as work angle, travelling angle, speed, CTWD. And, it is visualization to bead from extract to optimal morphological feature information to using the Neural Network algorithm. The database was building without error to extract data from automatic robot welder. Also, the Neural Network algorithm was set a dataset of the highest accuracy from verification process in many times.

The bead was created in virtual reality from extract to morphological feature information. We were implementation to final shape of bead and overlapped in process by time to using bead generation algorithm and calibration algorithm for generate to same bead shape to real database in process of generating bead.

The best advantage of virtual welding training, it can be get the many data to training evaluation.

In this paper, we were representation bead to similar shape from generated bead to Flux Cored Arc Welding. Therefore, we were reduce the gap to virtual welding training and real welding training. In addition, we were confirmed be able to maximize the performance of education from more effective evaluation system

Key Words : Neural network algorithm, Virtual welding, Bead visualization

#### 1. 서 론

용접은 기원전 3천년 경 청동기 시대부터 현재 사용되어 지고 있는 기술이다. 제조 산업에서 부터 중공업, 자동차 공업, 전기/전자 산업, 플랜트 설비 산업 분야에서 사용되어 지고 있다.

공업계 고등학교, 마이스터고, 직업 전문학교, 폴리텍

대학 등에서는 많은 학생들을 대상으로 용접 교육을 실시하고 있다. 하지만 오랜 세월동안 사용해 왔던 기술이긴 하지만, 교육 훈련중에는 많은 문제점이 있다.

가스중독, 섬광, 어지러움증, 정신이 혼란한 증세, 피부 화상, 각결막염 등 질병과 사고에 노출될 수 있으며 불꽃 온도 및 작업복, 헬멧의 착용으로 체감온도가 40도 이상일 정도로 교육환경이 열악한 실정이다.

가상현실이란, 사람들이 일상적으로 경험하기 어려운

환경을 직접 체험하지 않고서도 그 환경에 들어와 있는 것처럼 보여주고 조작할 수 있게 해주는 방법이다. 응용분야는 교육, 고급 프로그래밍, 원격조작, 원격위성 표면탐사, 탐사자료 분석, 과학적 시각화 등에 사용된다. 이러한 가상현실 방법을 용접에 적용하여 실제 용접 훈련의 위험성을 제거하고, 소모성 재료를 절약하여 비용적으로 절감을 극대화 할 것으로 기대한다<sup>1,2)</sup>.

본 논문에서는 여러 용접 종류 중에서도, 산업 분야에서 많이 활용되고 있는 플럭스 코어드 아크 용접의 가상 현실 훈련 시스템 개발에 필요한 비드 가시화 방법을 제시한다. 실 용접에서 생성되는 비드의 형상을 분석하여 가상 훈련 시스템에 적용하여 현실과 동일한 비드의 형상을 표현함으로써, 훈련자의 용접 훈련에 많은 도움이 될 것이다.

## 2. 비드 데이터베이스

### 2.1 비드 데이터베이스의 정의

비드 데이터베이스란 가상현실 비드 가시화의 목적으로 실 용접에서 생성된 비드의 형태 정보를 수집하여, 용접 조건 별, 비드의 형태 정보를 정리한 데이터베이스이다.

비드 데이터베이스를 이용하여 가상현실에서 용접 훈련 시, 훈련 조건에 따른 비드의 형태 정보를 데이터베이스에서 검색을 하여 비드를 가시화 한다.

### 2.2 비드 데이터베이스 수집 방법

사실적인 비드를 표현하기 위해서는 비드 데이터베이스 데이터가 정확해야 한다. 사람이 용접을 수행한 결과를 데이터로 수집하기에는 문제가 있다. 용접 마다 그 사람의 성향에 따라 비드의 모양이 달라지기 때문에, 비드 데이터베이스에 수집될 데이터로는 알맞지 않다.

그럼으로 용접을 수행하는 결과를 데이터베이스에 데이터로 활용이 되어야 한다. 본 논문에서는 데이터를



Fig. 1 Welding output section

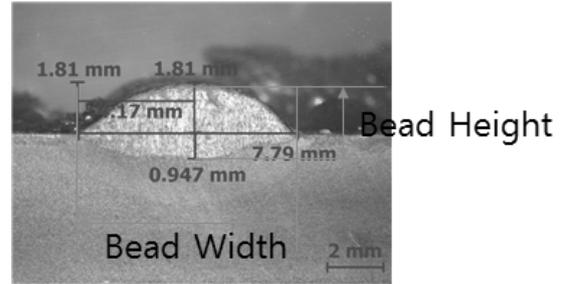


Fig. 2 SEMcross-sectional imagesand measurement

플럭스 코어드 아크 용접의 로봇 용접기를 이용하여 토치의 작업각, 진행각, 속도 및 용접기의 전압과 전류의 변화에 따른 용접을 수행하고 생성된 용접 결과물을 절단한 후 절단된 단면을 전자 현미경으로 촬영하여, 비드의 폭과 높이, peak 너비, 용입 깊이 등의 데이터를 수집 하였다.

Fig. 1은 전자 현미경으로 촬영한 단면 영상이며, Fig. 2는 전자 현미경으로 촬영된 영상을 이용하여 Bead Width, Bead Height를 계측한 영상이다.

### 2.3 비드 데이터베이스 활용

각 용접 조건별로 생성된 비드의 단면 정보를 1:1 매핑하여 데이터베이스에 저장하여, 가상현실 훈련에서 비드 생성 시, 입력 값에 따른 출력 값으로 활용된다.

입력 값으로는 전압, 전류, 작업각, 진행각, 속도이며, 해당 입력 값을 뉴럴 네트워크 알고리즘에 적용하여 비드 폭, 비드 높이, peak 너비, 용입 깊이 등의 출력값을 도출한다.

## 3. 뉴럴 네트워크 알고리즘

뉴럴 네트워크는 뉴로라고도 불리는 것으로, 인간의 뇌의 기능을 적극적으로 모방하려는 생각에 기초를 두고 있다. 즉, 무언가를 보고, 그것이 무엇인가를 인식하여, 필요에 따라 행동을 취한다는, 인간에게는 아주 간단하고 당연한 사고 방식을 컴퓨터에 학습시키려는 것이다. 제어대상과 관련된 복수의 요인(패러미터)을 설정하고, 이들의 결합과 결합의 무게를 생각하는 방법이다.

현재까지 개발된 국내외 가상 용접훈련 장비에는 가상 용접 시, 항상 정해져 있는 비드의 형태를 생성한다. 훈련자의 행위에 따라, 발생하는 결과물이 같다면, 훈련의 성과를 높이기 힘들기에, 뉴럴 네트워크 알고리즘을 가상 용접에 적용하여, 훈련자의 행위에 따라 변화되는 비드의 형태를 표현하기 위해 가상 용접에 뉴럴 네트워크 알고리즘을 적용하게 되었다.

가상 용접 훈련에 적용되는 Fast Artificial Neural Network 알고리즘을 적용하였다. 무료 라이브러리 신경망 알고리즘으로서, 뉴로 생성 및 연산의 속도가 성능이 뛰어나, 실시간으로 비드의 형상을 예측하기에 적합한 알고리즘으로 판단하여 적용하였다.

가상 용접 훈련에서 용접기의 전압과 전류, 토치의 작업각, 진행각, 속도에 따른 비드 형태를 결정하기 위하여 뉴럴 네트워크 알고리즘을 이용한다. 뉴럴 네트워크 알고리즘의 입력 값을 전압, 전류, 작업각, 진행각, 속도를 주어지게 되며, 알고리즘의 연산을 통하여 비드의 너비, 높이, 용입 깊이를 도출한다<sup>5)</sup>.

알고리즘에 기반이 되는 데이터는 비드 데이터베이스의 데이터를 활용하였다.

Fig. 3과 같이 뉴럴 네트워크 알고리즘의 입력값으로 작업각, 진행각, 전압, 전류의 값이 입력되며, 연산을 통한 결과 값으로는 비드 넓이, 비드 높이, 비드 깊이 값이 도출한다. 비드 생성 시, CTWD의 변화에 따라 비드 형상을 결정하는데 중요한 인자로 여겨지지만,

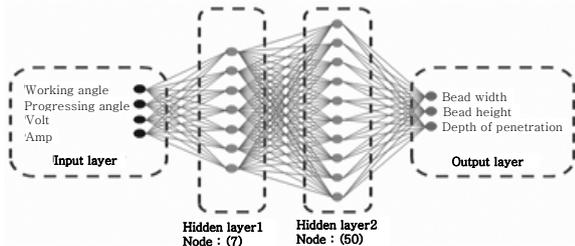


Fig. 3 Neural network algorithms

Table 1 Neural network algorithm accuracy verification

No	Real Data			Neural Data			Accuracy		
	Width	Height	Dept	Widt	Height	Dept	Width	Height	Dept
1	8.00	1.68	0.95	7.99	1.68	0.95	99.93	99.94	99.51
2	6.55	1.96	0.66	6.54	1.95	0.66	99.85	99.62	99.59
3	7.79	1.83	0.92	7.78	1.81	0.92	99.90	99.16	99.65
4	9.02	1.59	0.97	9.01	1.57	0.97	99.91	98.96	99.83
5	9.91	1.47	1.08	9.90	1.47	1.07	99.88	99.82	99.30
6	10.11	1.22	1.11	10.11	1.21	1.11	99.97	98.84	99.67
7	7.05	1.54	0.85	7.05	1.53	0.85	99.96	99.41	99.61
8	9.74	1.71	1.02	9.73	1.70	1.01	99.87	99.48	99.96
9	10.61	1.80	1.17	10.60	1.78	1.17	99.92	99.12	99.61
10	11.75	1.90	1.25	11.74	1.88	1.24	99.93	99.14	99.38
11	12.21	2.26	1.44	12.20	2.24	1.43	99.90	99.07	99.58
12	12.43	2.43	1.62	12.42	2.41	1.62	99.91	99.34	99.79
Average : 99.59			Average itemized : 99.91			99.33 99.54			

CTWD는 비드의 형상을 결정하는 시점보다, 비드가 중첩되는 과정에서 영향값으로 적용되는게 옳다고 판단하여 뉴럴 네트워크 알고리즘의 입력값으로 제외를 하였다.

뉴럴 네트워크 알고리즘을 통해 출력되는 출력값과 비드 데이터베이스에 저장되어 있는 출력 데이터를 비교하여 정확도 검증을 수행한다.

비교를 위해 입력되는 입력값은 비드 데이터베이스에 저장되어 있는 데이터를 기반으로 한다.

12개의 데이터를 입력하여 정확도 검증을 수행 하였으며 정확도 검증 결과는 아래의 표와 같다. Table 1의 실제 측정 데이터는 실용접 단면 사진을 통해 획득한 데이터 이며, 뉴럴넷 결과 데이터는 뉴럴 네트워크 알고리즘을 적용하여 추출한 데이터이다. 두 개의 데이터를 비교하여 정확도를 추출한 결과 99.59% 정확도를 도출하였다.

#### 4. 비드 가시화

뉴럴 네트워크 알고리즘을 통해 비드의 폭과 높이, 용입 깊이 등의 출력 값을 도출 하였으며, 비드의 형상을 표현하는 작업이 필요하다. 이를 비드 가시화라고 하며, 도출된 출력 값과 토치의 작업각, 진행각을 이용하여 실제 비드와 유사한 가상 현실 속의 비드를 생성한다.

도출된 출력값을 이용하여 Fig. 4와 같이 곡선의 방정식을 적용한 후 비드의 형태를 생성한다.

비드 형상을 생성하기 위한 수식은 아래와 같다.

1) X(t) 값을 기준으로 곡선을 둘로 나눈 후, 곡선의 방정식의 기울기를 구한다.

- $F(x) = m(x - x(t))^2 + h \rightarrow (x(t), h)$ 를 지나고 x축에 대칭인 곡선의 방정식
- $F(x) = 2m(x - x(t)) \rightarrow$  곡선의 방정식을 미분한다.
- $F(x) = -2 * m * x(t) \rightarrow x = 0$ 을 대입하면 Left tow angle의 직선 기울기가 구해진다.
- $F(x) = -2 * m * x(t) = \tan(180 - a)$
- $F(x) = m(x - x(t))^2 + h$  에 (0, 0)을 대입한다.

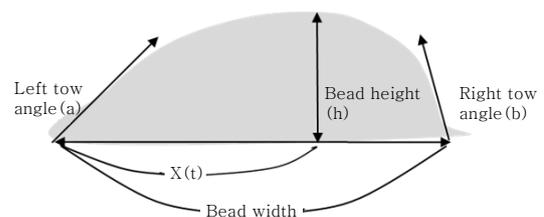


Fig. 4 Generation algorithm bead

- $m \cdot (x(t))^2 + h = 0, m = -h / (x(t))^2$
- $-2 \cdot (-h / (x(t))) \cdot (x(t)) = \tan(180 - a)$
- $2h / (x(t)) = \tan(180 - a)$
- $x(t) = 2h / (\tan(180 - a))$
- $m = -h / ((x(t))^2)$

2) 왼쪽 곡선의 방정식

- $F(x) = m(x - x(t))^2 + 2$ 에서
- $x(t) = 2h / (\tan(180 - a)), m = -h / ((x(t))^2)$ 를

대입한다

3) 오른쪽 곡선의 방정식

- $F(x) = m_2(x - x(t))^2 + h$
- $F(x) - 2m_2(x - x(t)), x = x_1$ 를 대입하면 Right tow angle의 직선 기울기가 구해진다.
- $2m_2(x_1 - x(t)) = -\tan(180 - b)$
- $m = (\tan(180 - b)) / (2 \cdot (x_1 - x(t)))$

Fig. 5는 비드 가시화 방법의 절차를 표현하며, Fig. 6은 비드 가시화 방법에 따라 생성된 가상의 비드를 표현한 것이다.

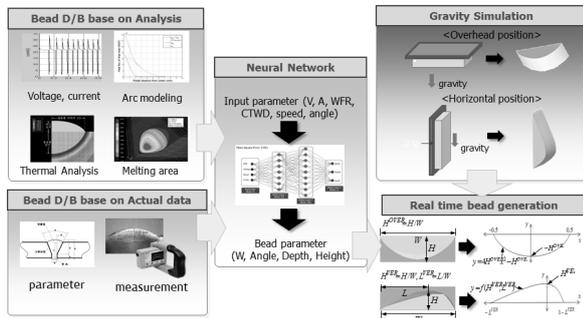


Fig. 5 Bead visualization procedures

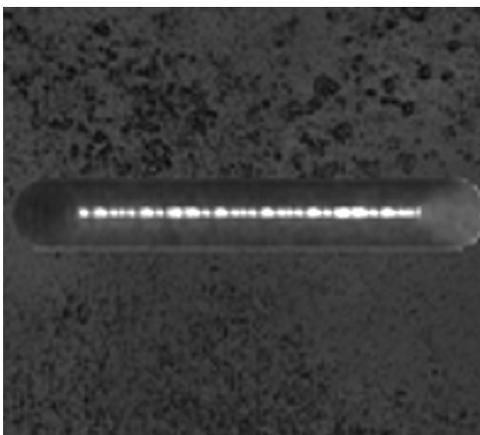


Fig. 6 Bead visualization video

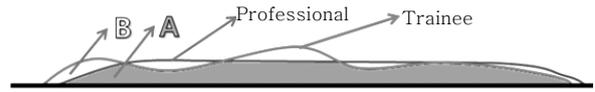


Fig. 7 Evaluation of the bead width

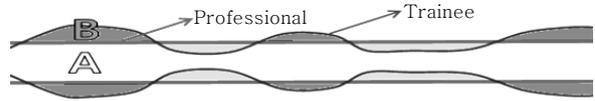


Fig. 8 Evaluation of the bead height

5. 비드 형상 평가

가상 용접 훈련의 가장 큰 이점은 훈련 즉시 평가가 가능하다는 점이다. 실 용접의 경우, 훈련을 수행한 후, 교수 및 강사에게 훈련에 대한 평가를 받아야 하지만, 훈련자가 비드를 생성 방법과 비드의 단면을 평가하기에는 어려움이 많다. 가상 용접 훈련은 훈련자가 훈련을 수행하는 과정을 모두 저장할 함으로서, 훈련이 끝난 후, 훈련에 대한 평가를 훈련자에게 제시한다<sup>3,4)</sup>.

평가 항목으로는 작업각, 진행각, 속도, 작업경로, 비드 너비, 비드 높이 등의 평가를 수행하며, 특히 비드의 너비와 높이는 일정한 모양으로 생성하는 것이 중요하여 일정 너비와 높이에서 벗어 났을 때의 면적을 계산하여 배점을 수행한다. 비드의 너비와 높이의 계산하는 면적 그래프는 아래의 그림과 같다.

비드의 넓이와 높이 평가는 비드의 미려도 평가로서, 비드의 결함이 없고, 깨끗하면서 완전한 비드를 생성하기 위해, 반드시 수행해야 할 평가 방법이다.

Fig. 7은 비드의 너비를 평가하는 방법을 그래프로 표현한 것이고, Fig. 8은 비드의 높이를 평가하는 방법을 그래프로 표현 하였다.

6. 실험 및 구현 결과 분석

본 실험 환경은 Inter(R) Xeon(R) CPU W3550 @ 3.07GHz 3.06GHz와 4G의 RAM이 장착된 IBM 호환 PC상에서 Virtools 5.0과 Visual studio 2008 MFC, Microsoft SQL Server 2005를 사용하여 구현하였다.

제한된 가상 용접 훈련은 사용자가 용접기의 전압과 전류를 설정하여 용접을 수행한다.

Fig. 9는 전압과 전류를 설정하는 화면이다.

실제 플럭스 코어드 아크 용접기에서 사용하는 토치를 가상 용접 훈련 장치에 장착하여 훈련을 진행하며, 토치의 위치 정보를 인식하여 데이터베이스에 저장한다.

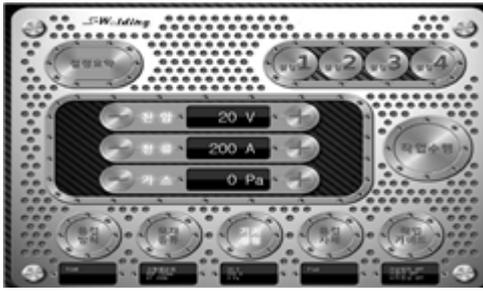


Fig. 9 Welding voltage and current settings



Fig 10 Perform virtual welding training

Fig. 10은 실제 토치를 이용하여 가상 용접 훈련을 수행하는 그림이다. 훈련자는 모니터상에 나타난 가상의 모재에 토치를 이용하여 가상 용접 훈련을 수행한다.

훈련을 수행한 조건에 따라, 데이터베이스에 정보가 저장되며, 형성된 비드의 형태 정보를 이용하여 비드 데이터베이스 생성시에 사용된 전자 현미경 계측 영상과 비교하여 비드 형상 정확도를 측정한다. 측정 항목은 비드의 폭과 비드 높이 및 비드의 형태 정보를 비교하였다. 비드 폭과 비드 높이, 비드의 형태는 Auto CAD 프로그램을 이용하여 비교를 수행하였다.

실험은 전압, 전류, 속도, 작업각, 진행각, CTWD의 변화를 주어, 가상 용접을 수행한 후, 생성된 비드의 형태 정보와 실 용접 결과물의 단면 정보를 비교를 수행하였다.

실험은 총 24건의 환경 값으로 수행하였으며, 실험 환경 값은 아래의 Table 2와 같다.

정확도 검증 결과 96.84%의 정확도가 실험을 통해서 도출되었다. 정확도 검증 방법은, 실용점에서 획득한 비드 단면 정보와 가상으로 생성된 비드의 형태 정보를 비교하여 검증을 수행하였다. 평가 항목으로는 비드의 넓이와 높이 정보 및 형태학적 특징으로 설정하였다. Fig. 11은 비드 형상 알고리즘을 통하여 생성된

비드 형태와 현미경 계측 영상과의 비교를 수행한 그림이다. 실용점에서 획득한 단면 사진과 가상용접을 통해 형상화 시킨 비드의 형태 정보를 비교를 하였다. 비드의 넓이와 높이를 계측하였고, 비드의 형태 정보를 실용점 단면 사진에 오버랩하여 비드의 형태적인 차이를 비교 하였다.

Table 2 Welding measurement environment

Welding measurement environment							
ID	Measure	Voltage	Currents	Speed (mm/min)	Working angle	travelling angle	thickness
F_B_1	Standard	22	100	300	0	15	6
F_B_2	Voltage	18	100	300	0	15	6
F_B_3	Voltage	20	100	300	0	15	6
F_B_4	Voltage	24	100	300	0	15	6
F_B_5	Voltage	26	100	300	0	15	6
F_B_6	Voltage	28	100	300	0	15	6
F_B_7	Currents	22	80	300	0	15	6
F_B_8	Currents	22	120	300	0	15	6
F_B_9	Currents	22	140	300	0	15	6
F_B_10	Currents	22	160	300	0	15	6
F_B_11	Currents	22	180	300	0	15	6
F_B_12	Currents	22	200	300	0	15	6
F_B_12	Speed	22	100	200	0	15	6
F_B_14	Speed	22	100	400	0	15	6
F_B_15	Working angle	22	100	300	-20	15	6
F_B_16	Working angle	22	100	300	-10	15	6
F_B_17	Working angle	22	100	300	10	15	6
F_B_18	Working angle	22	100	300	20	15	6
F_B_19	Working angle	22	100	300	30	15	6
F_B_20	travelling angle	22	1000	300	0	0	6
F_B_21	travelling angle	22	100	300	0	5	6
F_B_22	travelling angle	22	100	300	0	10	6
F_B_23	travelling angle	22	100	300	0	15	6
F_B_24	travelling angle	22	100	300	0	20	6

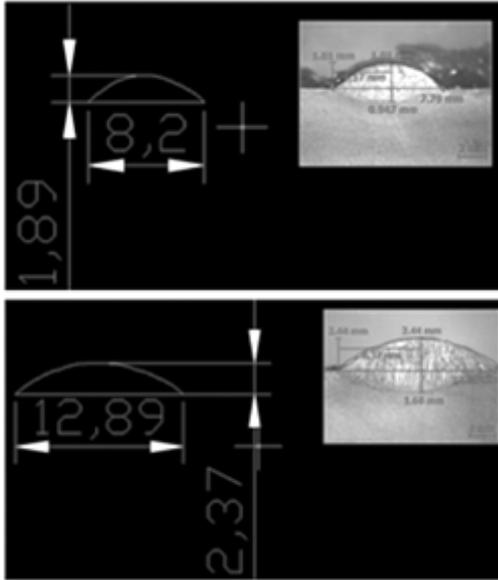


Fig. 11 Bead accuracy verification

## 7. 결 론

본 논문에서는 실 용접에서 획득한 비드의 단면 정보를 이용하여 가상 현실에서 실제 비드 형태와 동일하게 가시화 하기 위하여 비드 데이터베이스 및, 뉴럴 네트워크 알고리즘, 비드 가시화 알고리즘을 이용하여 96.84%의 높은 정확도를 가지는 비드를 생성하였다. 또한, 실제 용접에서와 동일한 형태의 비드를 생성함으로써, 훈

련자가 가상 현실에서 수행한 용접 훈련이 실 용접 훈련과의 정확성을 검증할 수 있으며, 이를 통해, 가상용접에서 생성된 비드에 대한 신뢰성을 확인 할 수 있었다.

가상 용접 훈련의 정확성과 신뢰성을 바탕으로 향후, 용접 교육을 수행하는 훈련자에게 많은 도움이 될 것이라는 전문가 자문을 통해 확인 하였다.

## Reference

1. U.Y. Yang, D.S. Jo, Y.W. Kim, G. Lee, H.M. Kim, J.H. Kim, K.H.Kim : Virtual Reality Technology for Industrial Application, ETRI, **26-1** (2011), 25-35 (in Korean)
2. G. Lee, U.Y. Yang, U.H. Son, Y.W. Kim, D.S. Jo, K.H. Kim, J.S. Choi : Virtual Reality Content-Based Training for Spray Painting Tasks in the Shipbuilding Industry, ETRI Journal, **32-5** (2010), 695-703 (in Korean)
3. S.M. Lee, J.W. Son, D.S. Jo, Y.D. Pak : Training of welders and engineers by using the virtual welding simulator, Abstracts of KWJS, **54** (2010), 71 (in Korean)
4. D.S. Jo, Y.W. Kim, U.Y. Yang, G. Lee, J.S. Choi, K.H. Kim : Virtual Reality Based Welding Training Simulator, Abstracts of KWJS, **53** (2010), 49 (in Korean)
5. D.S. Jo, Y.W.Kim, U.Y. Yang, G.A. Lee, J.S.Choi : Visualization of Virtual Weld Beads, In Proceedings of the 2009 ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, 2009, 269-270