

3차원 모델링을 통한 구명복 착용 후 부양자세 예측

필송송 · 김동준* · 박종현¹ · 민경철² · 이재상

부경대학교 조선해양시스템공학과, ¹부경대학교 조선해양시스템공학연구소,
²한국해양대학교 글로벌 선도 해양플랜트 인재양성센터

The prediction of floating position of human model after wearing life-jacket based on the three dimensional modeling

Chong-Song BI, Dong-Joon KIM*, Jong-Heon PARK¹, Kyong-Cheol MIN² and Jae-Sang LEE

Department of Naval Architecture and Marine Systems Engineering, Pukyong National University,
Busan 608-737, Korea

¹Naval Architecture and Marine Systems Engineering Research Center, Pukyong National University,
Busan 608-737, Korea

²Global Leading Offshore Platform Education Center, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

Recently, the manufacturers of life-jacket are very interested in the acquisition of USCG(US Coast Guard) approval because the acquisition of USCG approval has an important role in the purchasing decision of the buyer's. Be based on criterion of USCG, we studied how to predict the change of floating position of human model with life-jacket to verify the backside restore. For this, in this study, the human model and the life-jacket was modeled in three dimension, the application program for prediction of floating position was developed, and plugged-in commercial program.

Keywords: Life-jacket, 3D modeling, Digital human modeling, Plug-in application program, Floating position prediction

서 론

구명복 (life-jacket)은 위급 상황의 인명구조라는 본래의 목적으로 우리 주변의 안전에 크게 기여하고 있다. 또한 최근 해양레저 및 해양스포츠에 대한 수요가 급격하게 증가함에 따라 다양한

해양스포츠 및 레저산업 분야에서도 그 필요성이 점차 증대되고 있다. 구명복의 고유한 기능은 인명의 침수 시 인체 부력을 증가시켜 익사를 예방하는 것이다. 그 과정에서 안면부가 수면 아래를 향한 경우, 호흡이 가능하도록 안면부를 수면

*Corresponding author: djkim@pknu.ac.kr, Tel: 82-51-629-6614, Fax: 82-51-629-6608

위 방향으로 회전시키는 배면복원 (backside restore) 기능을 수행해야 한다.

이러한 성능을 보장하기 위하여 일반적으로 구명복은 조금은 투박한 크기의 부력재를 배치하고 있다. 해양레저용품으로서의 구명복은 기능성뿐만 아니라 소비자의 구매 욕구를 높여주는 디자인 기술력의 확대도 요구되고 있다. 다양한 소비자들의 디자인 니즈 (needs)를 충족시키고 고유의 목적을 달성하기 위해서는 최소한의 부력재를 이용한 제품의 개발이 요구되고 있다.

기존의 배면복원 구명복은 피실험자가 시제품을 착용하고 직접 입수하여 실험하는 방식으로 개발되고 있어 중소기업이 대부분인 구명복 개발업체의 디자인 개발비용을 상승시키는 요소로 작용하고 있다. 착용자의 다양한 신체 크기에 따라 구명복의 형태나 크기가 다양할 뿐만 아니라 특히 유아 및 어린이용 구명복의 경우, 피실험자의 안전성 문제로 인하여 실제 실험이 어렵기 때문에 제작에 특별한 배려가 필요하다 (KITECH, 2001). 이러한 실험을 대체하기 위해 최근 일반 공학에서 사용이 증가되고 있는 시뮬레이션 기법을 활용한다면 개발기간 단축, 생산비용 절감, 품질 향상 등에 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 기대한다 (Lee et al., 2006).

따라서 본 논문에서는 인체와 구명복의 3차원 모델링과 결합을 통하여 피실험자가 직접 입수하는 방식이 아닌 컴퓨터상의 3차원 모델링을 통하여 구명복을 착용한 후의 부양자세 (floating position)를 실제 입수실험과 거의 일치하도록 예측할 수 있는 응용프로그램을 개발하여 부양자세를 분석, 고찰하였다.

장치 및 방법

구명복 착용 후의 부양자세 이론

구명복을 착용한 디지털 인체 모델 (digital human model)의 부양자세를 예측하기 위해서는 두 가지 운동 즉, 수직방향 중력 (F_w)과 부력 (F_B)에 의해 나타나는 상하운동과 무게중심 변화에

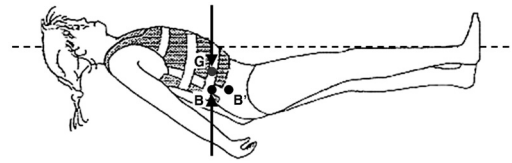


Fig. 1. Initial stability.

의해 나타날 수 있는 회전운동을 고려해야 한다 (Fig. 1).

최종의 부양자세가 되면 아래의 식 (1)과 같이 중력과 부력의 중심이 같은 수직선상에 있어야 하고 서로 같아야 한다. 그 때 식 (2)의 횡메타센터 높이 GM이 0보다 크게 되면 양의 복원력 (positive stability)을 가지게 된다.

$$F_w = F_B \quad (1)$$

$$GM = KB + BM - KG > 0 \quad (2)$$

여기서 KB는 수직방향의 부력중심이고, BM은 횡메타센터 반지름, KG는 수직방향의 무게중심이다.

구명복을 착용한 인체 모델링

실제 인간이 가지고 있는 주요 관절의 원활한 움직임을 표현하기 위해서는 관절의 움직임 등을 고려할 수 있는 허용한도 내에서 구형상의 인체 내부로 파고들어가는 면을 포함하여 모델링해야 한다. 이럴 경우, 최종 외곽면으로 형성되는 모델의 부피 및 부피중심을 구하는데 많은 계산을 필요로 하여 시뮬레이션에 어려움이 생긴다. 따라서 초기에는 주요 관절의 특성을 모델링하고자 Fig. 2에서의 강제와 링에 의한 연결 구조를 가진 인체 모델을 고려하였다. 이 방법은 입수자의 부양자세를 정확히 예측가능하다는 장점을 가지고 있으나 이를 위해서는 인체 각 부위의 비례치 및 밀도, 무게중심 등에 관한 상세한 데이터가 요구된다. 하지만 그것을 얻기란 현실적으로 쉽지 않았으며, 디지털 인체 모델링 시 발생하는 관절 부위의 중복 문제 및 관절 부위에서 정확한 부력이 표현되지 못한다는 단점을 가진다.

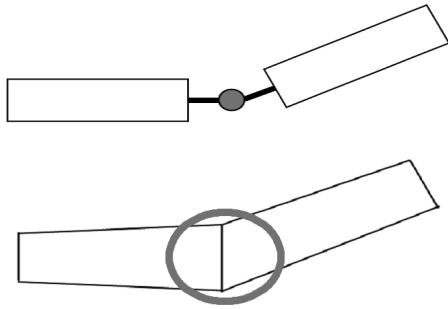


Fig. 2. Connection structure of the human body.

그리고 입수자가 구명복을 착용한 상태에서 동작을 하면 입수자의 자세에 따라 구명복의 형태가 변형된다. 따라서 모델링된 구명복을 착용한 상태의 디지털 인체의 경우에는 동작에 따라 구명복의 형태를 변경시켜야 하는데 이는 현실적으로 어렵다.

따라서 본 논문에서는 입의의 자세를 취한 디지털 인체에 맞추어 구명복을 입혀 하나의 객체(object)로 생성시켰다. 하나의 객체로 생성된 인체 모델링은 수중에서 관절이 자유로이 움직일 수 없는 모델이 되어 부양자세를 예측하기 위해서는 입수실험을 통해 얻은 전형적인 부양형태를 선정하여 이 자세에서 하나의 객체로 모델링하는 방법을 선택하였다.

인체 모델링

피실험자의 신체조건과 동일하게 가상공간에 모델링되는 디지털 인체 모델은 인간이 가지고 있는 주요 관절의 특성을 대부분 구현할 수 있어야 한다. 디지털 인체 모델링에는 SAFEWORk®, JACK™, POSER 등 다양한 상용프로그램들이 이용되고 있다 (Min and Kim, 2008). 본 논문에서는 인체 모델링을 위한 3D 캐드프로그램으로 부양자세 예측에 필요한 수치적 계산과 디자인 업체가 보유하고 있는 프로그램과의 호환성 등을 고려하여 Rhino 3D를 선택하였다.

디지털 인체를 모델링하는 방법으로는 여러 가지 기법들이 존재하며 그 대표적인 방법이 파

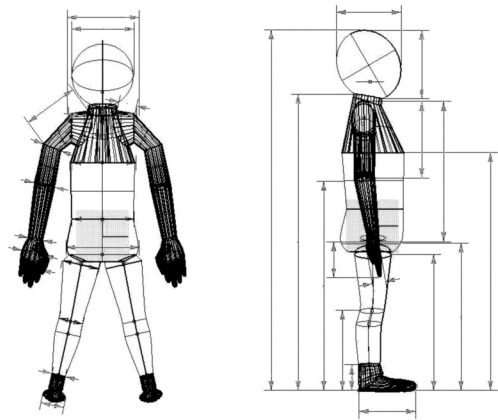


Fig. 3. Human items used in modeling.

라메트릭 기법이다. 파라메트릭 기법이란, 각 인종 및 개별 체형에 대한 인체표본치수를 데이터베이스로 구축하여 그로부터 대표적인 백분위수(percentile)의 인체치수를 통계적으로 얻어내어 이를 디지털 인체 모델링에 적용하는 것이다.

본 논문에서는 한국인 인체표준 데이터베이스를 구축하고 있는 SIZEKOREA의 인체 데이터를 기초로 Rhino 3D를 이용하여 디지털 인체 모델링을 수행하였다. 디지털 인체 모델링은 구명복 제작 대상인 14kg, 19kg, 35kg, 45kg, 55kg, 65kg, 75kg 등 7종류의 체중을 가진 사람들을 모델링 대상으로 선정하였다. 이렇게 대상을 선정할 이유는 SIZEKOREA의 자료 중에 있는 기준 체중이 14.8kg, 19.1kg, 35.4kg, 45.2kg, 57.1kg, 65.2kg, 75kg이므로, 이들과 서로 맞추기 위해 나이를 기준으로 정해진 유사중량을 선택한 것이다.

Fig. 3은 디지털 인체 모델링 시 사용된 인체의 측정항목들을 머리, 몸통, 팔, 다리 등으로 나누어서 각 항목에 대한 둘레, 너비, 두께, 길이, 높이 등을 측정하여 나타내었다. Fig. 4는 14.8kg의 체중을 가진 사람을 모델링한 모습을 보여주고 있다.

모델링된 디지털 인체들의 검증은 Rhino 3D에서 제공하는 질량 속성(mass properties)에서 디지털 인체의 부피를 측정하여 확인하는 방법을 사용하였다. 모델링된 디지털 인체의 체적에 인체의 평균밀도 0.967g/m³을 곱하여 체중을 비

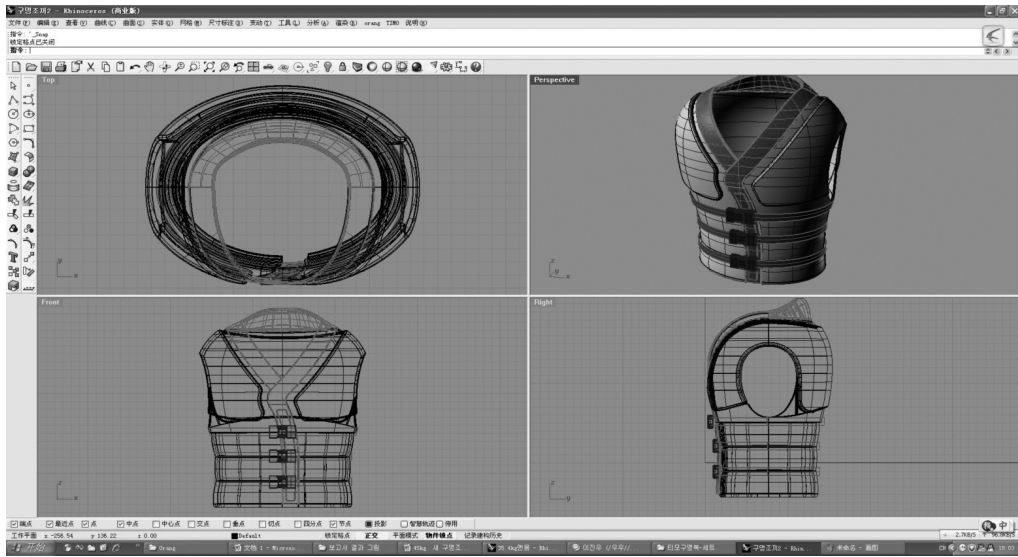


Fig. 6. Modified life-jacket considering design concept.

디지털 인체 모델과 구명복 모델의 결합

디지털 인체 모델과 구명복 모델의 결합 목적은 인체에 부력재를 결합함으로써 디지털 인체 모델의 체적 변화를 확인하여 최종 부양자세를 찾고자 함에 있다. 이에 따라 구명복의 정밀한 디자인 부분은 결합 과정에서 고려되지 않았으며 부력재의 위치 및 두께를 고려하여 디지털 인체 모델과의 결합을 진행하였다. 한편 개발된 플러그인 응용프로그램에서는 디지털 인체 모델이 구명복 모델을 수동으로 착용하도록 하였다. 이

는 자세가 바뀔 수 있는 디지털 인체 모델에 고정된 형상의 구명복을 자동적으로 착용하도록 하는 것이 현실적으로 매우 어렵기 때문이다. 구명복 착용에 걸리는 시간은 숙련된 운용자의 경우 약 5분 정도의 시간이 걸리는 것으로 예측되었다.

Rhino 3D에서 제공하는 기능을 이용하여 수동으로 이루어지는 디지털 인체 모델과 구명복 모델의 결합은 첫째, 구명복을 duplicate border 기능을 사용하여 곡선으로 생성, 둘째, 곡선을 복사하여 디지털 인체 모델의 내부로 이동 및 스

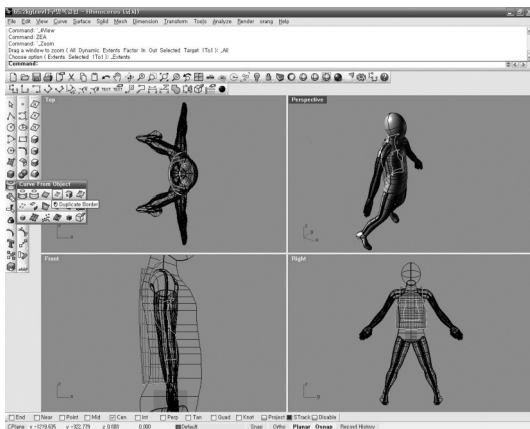


Fig. 7. Lofting using duplicate border.

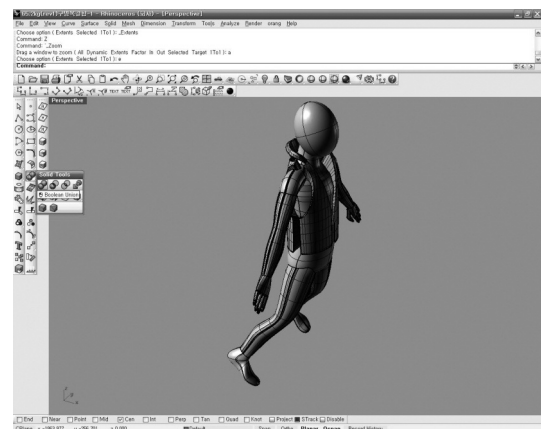


Fig. 8. Combination result using boolean union.

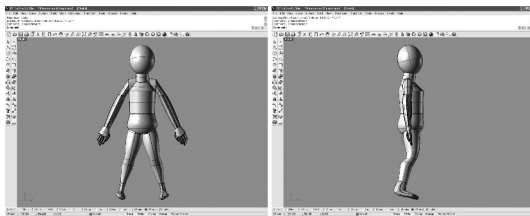
케일 조정하여 축소, 셋째, 내부에 위치한 곡선과 duplicate border로 형성된 곡선을 loft시켜 surface 생성 (Fig. 7), 넷째, 생성된 surface와 디지털 인체 모델을 boolean union을 이용하여 결합 (Fig. 8)의 순서이다.

전형적인 부양자세를 찾기 위한 입수실험과 결과 비교

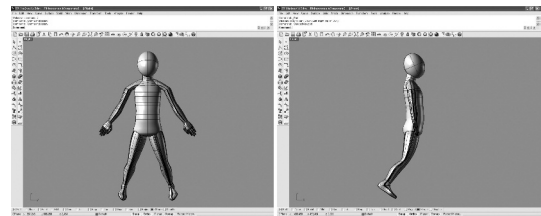
디지털 인체를 정확하게 모델링하기 위해서는 구명복을 착용한 입수자의 부양자세와 관련된 여러 가지 데이터가 필요하나 이에 대한 데이터



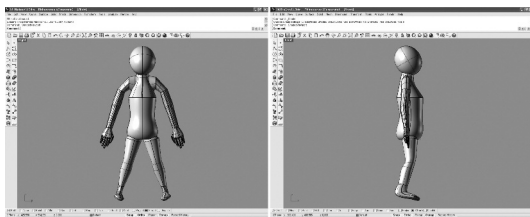
Fig. 9. Test for final floating position on experiment.



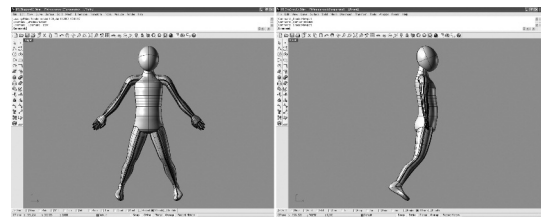
(a) 14.8kg



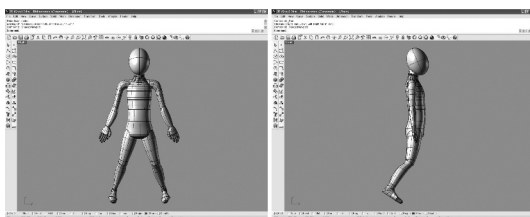
(e) 57.1kg



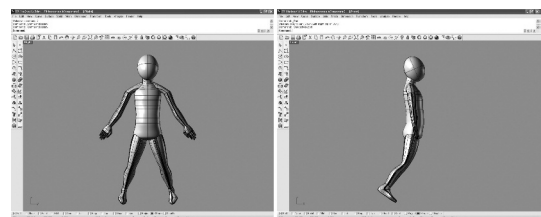
(b) 19.1kg



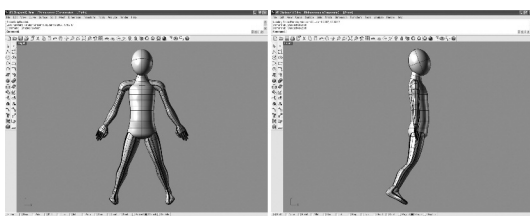
(f) 65.2kg



(c) 35.4kg



(g) 75.0kg



(d) 45.2kg

Fig. 10. Digital human models modified for each weight.

가 절대적으로 부족하였다. 따라서 구명복을 착용한 입수자의 부양자세를 계측하기 위하여 입

Table 2. Center of weight for 7 digital human models

| Weight (kg) | Height (mm) | Z (mm) | X (mm) |
|-------------|-------------|--------|--------|
| 14.8 | 980 | 479.20 | 82.70 |
| 19.1 | 1100 | 492.00 | 121.38 |
| 35.4 | 1500 | 653.89 | 131.29 |
| 45.2 | 1600 | 684.00 | 143.40 |
| 57.1 | 1700 | 714.00 | 161.06 |
| 65.2 | 1800 | 741.00 | 165.00 |
| 75.0 | 1870 | 768.00 | 185.00 |

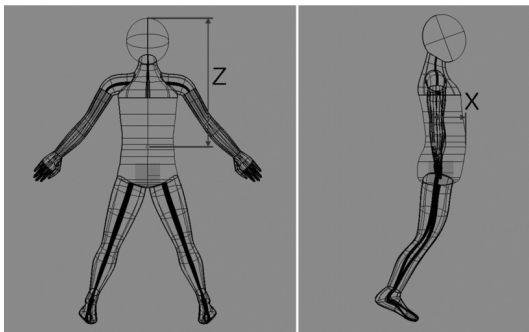


Fig. 11. Definition of Z, X value.

수실험을 실시하였다. 입수실험 대상자는 구명복을 착용한 몸무게 65kg인 성인남성이며, Fig. 9는 입수자의 최종 부양자세를 보여주고 있다.

이 입수실험에서 얻어진 부양자세를 바탕으로 Fig. 4에서 생성된 인체 모델을 Fig. 10에 나타낸 바와 같이 7가지 디지털 인체 모델로 수정하였다.

Table 2에 모델링된 7가지 디지털 인체의 치수와 무게중심 위치들을 나타내었다. 여기서 Z는 무게중심에서 머리끝까지의 길이이고, X는 무게중심에서 인체 앞쪽까지의 길이이다 (Fig. 11).

Fig. 12에는 구명복을 착용한 65.2kg 인체 모델의 부양자세 예측결과를 보여주고 있다. 이것과 Fig. 9에 나타난 실험결과의 부양자세와 신체의 경사각, 수면위의 상승부분의 형상특징 등이 거의 유사함을 확인할 수 있다.

플러그인 응용프로그램 (plug-in application program)

본 논문에서는 MS Visual C++ 및 Rhino SDK

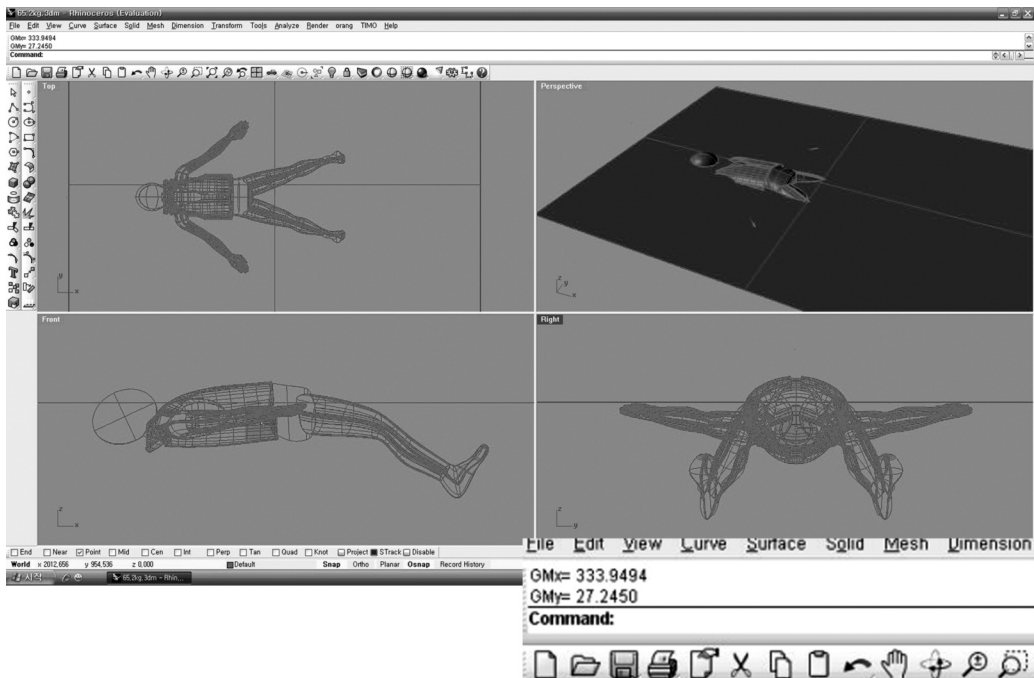


Fig. 12. Floating position of digital human (65.2kg).

(Software Development Kit)를 이용하여 Rhino에서 배면복원 구명복의 부양자세를 예측할 수 있는 플러그인 응용프로그램을 개발하였다.

플러그인 응용프로그램은 기존의 프레임워크에 개발한 컴포넌트를 연결하여 이용하는 기술이다 (Lee et al., 2005). 플러그인 응용프로그램을 이용하면 원하는 기능을 사용하기 위해 별도의 프로그램을 개발하지 않고도 기존의 프로그램에서 제공해주는 다양한 기능을 이용하여 쉽게 작업할 수 있는 환경을 구축할 수 있다. Rhino는 3D 모델을 디자인하고 제작하기 위한 소프트웨어로써, 산업디자인, 자동차 스타일링, 선박디자인, 귀금속디자인, 건축 및 기계설계 등의 분야에서 광범위하게 이용되고 있다. Rhino의 특징 중 주목할 만한 것은 명령 스크립트, VBScripts, C++로 구현되는 Rhino SDK 등을 이용하면 사용자가 원하는 기능을 추가하여 사용할 수 있는 개방적인 운영체제를 가지고 있다는 점이다 (<http://www.kr.rhino3d.com/>).

플러그인 응용프로그램을 개발하는 방법으로는 3가지가 있다. 첫 번째는 Microsoft VBScript

를 토대로 추가하고 싶은 기능을 Rhino script language로 작성해서 개발하는 방법이며, 두 번째는 C++ SDK를 이용해서 플러그인 응용프로그램을 개발하여 Rhino에 추가하는 방법이다. 마지막으로 NET SDK를 이용하여 VB.NET, C#.NET, C# 등의 프로그램 언어로 개발하는 방법이 있다.

본 논문에서는 3차원으로 모델링된 구명복을 착용한 디지털 인체 모델에 대하여 부양자세를 예측하기 위해서 수면하 중심과 부피 등을 계산해야 하는데 어려움이 많다. 따라서 상용프로그램의 함수들을 이용하여 자동적으로 계산이 가능한 MS Visual C++ SDK를 이용해서 플러그인 응용프로그램을 개발하였다. Fig. 13은 부양자세를 예측하기 위한 플러그인 응용프로그램의 개발 순서를 보여주고 있다.

결과 및 고찰

개발된 플러그인 응용프로그램의 검증을 위해 Fig. 9에 나타난 구명복을 착용한 몸무게 65kg인 성인남성의 실험에서 나타난 자세와 Fig. 12에 나타난 구명복을 착용한 65.2kg 인체 모델의 부양자세를 비교한 결과 양자가 거의 일치함을 보였다. 다음으로 체중이 45.2kg의 디지털 인체 모델을 대상으로 구명복 착용 후의 부양자세를 예측해보았다. Fig. 14는 구명복을 착용하지 않은 상태에서의 부양자세를 보여주고 있다. GM값은 작지만 양의 값을 가지고 있고, 수면에 떠 있는 부분이 거의 없음을 보여주고 있다. Fig. 15는 구명복 A를 착용한 경우의 부양자세를 보여주고 있다.

Table 3은 구명복별 45.2kg의 디지털 인체 모델의 부양자세 예측결과를 나타내고 있다. 결과에 따르면 구명복을 착용하게 되면 수면에서의 높이가 증가하는 것을 확인할 수 있으며, 구명복의 부력재의 배치에 따라 GM_y값이 변화하며, 심지어 음의 크기를 갖는 경우도 생긴다는 것을 확인할 수 있다. 구명복 B는 A를 착용했을 때에 비

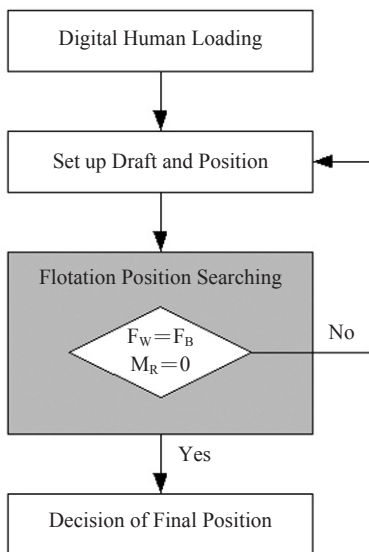


Fig. 13. Procedure of plug-in application.

3차원 모델링을 통한 구명복 착용 후 부양자세 예측

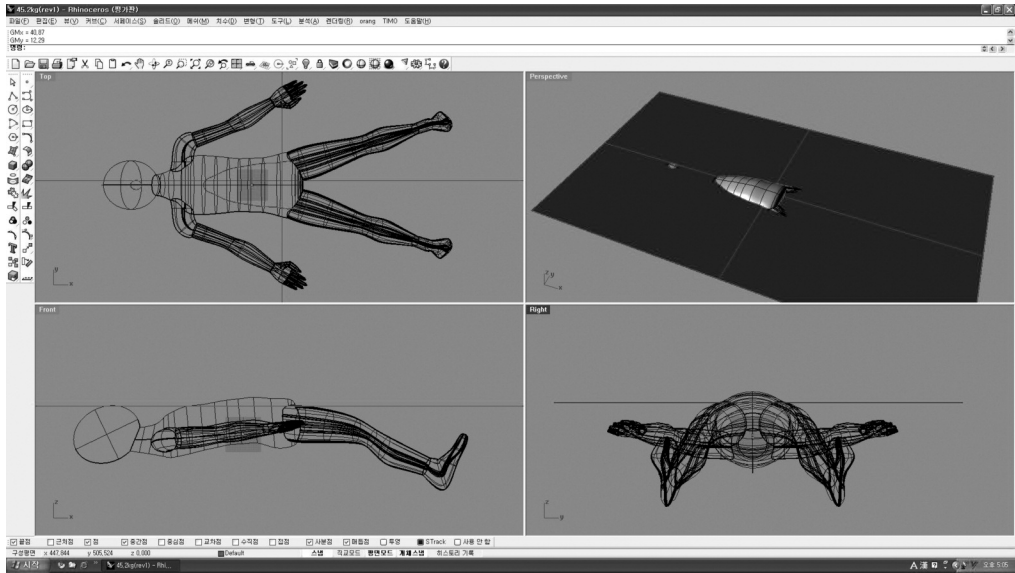


Fig. 14. Digital human floating position without life-jacket on for weight 45kg.

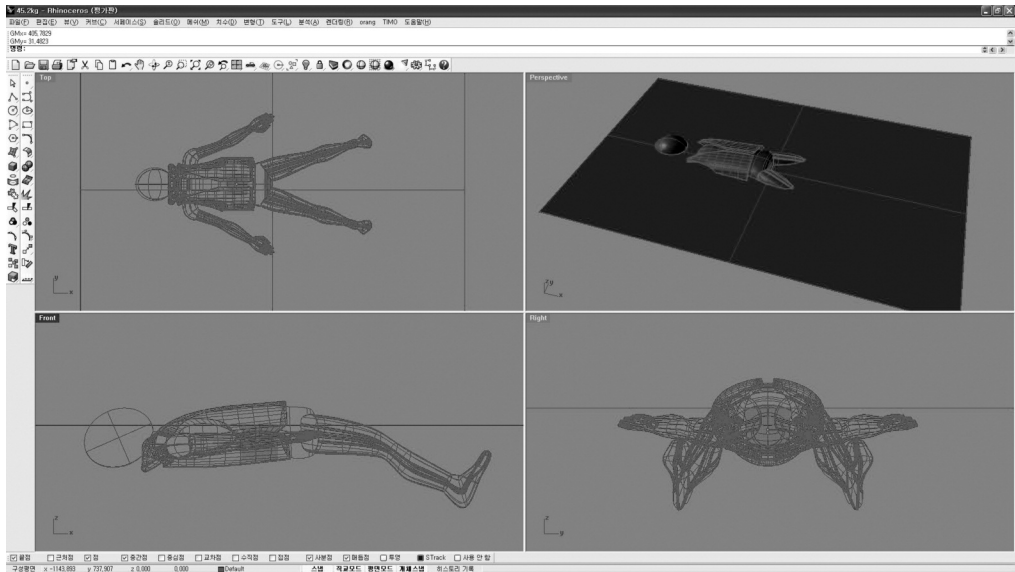


Fig. 15. Digital human floating position with life-jacket A on for weight 45.2kg.

해 수면에서의 높이가 GM_y 가 감소하였으며, 이것은 수선면적이 줄어들에 따른 것으로 판단된다. 구명복 C의 경우, 수면에서의 높이가 구명복 A에 비해 그다지 작지 않은 것을 볼 때 부력재의 양은 충분한 것으로 판단되나 GM_y 가 음의 값을

가져 최종 부양자세가 전복된 자세로 바뀔 것이라는 것을 보여주고 있다. 구명복 C가 레저용으로 디자인이 강조된 컨셉으로 부력재가 배치된 것을 고려하면 안전성이 희생된 것임을 확인할 수 있다. 이러한 결과를 볼 때 구명복의 부력재

Table 3. Predictions on floating position of digital human (45.2kg)

| Items | GM _x (mm) | GM _y (mm) | Height from surface (mm) |
|---------------|----------------------|----------------------|--------------------------|
| Life-jacket A | 405.78 | 31.48 | 66.12 |
| Life-jacket B | 352.07 | 19.77 | 50.00 |
| Life-jacket C | 277.27 | -3.51 | 61.52 |
| Naked body | 40.87 | 12.29 | 2.00 |

배치에 따라 최종 부양자세는 심각하게 바뀔 수 있음을 알 수 있다.

결 론

본 논문에서는 구명복 착용 후의 부양자세를 예측하기 위해서 상용프로그램인 Rhino에서 구동할 수 있는 플러그인 응용프로그램을 MS Visual C++ SDK를 이용하여 개발하였다. 개발된 플러그인 응용프로그램은 UL 1123의 규정에 따라 구명복을 착용한 디지털 인체 모델의 입수 시 부력 및 GM 등을 계산하여 수면에서의 높이 및 자세를 변화시켜 최종 부양자세를 예측할 수 있도록 하였다.

본 논문에서는 65.2kg의 체중을 가진 디지털 인체 모델의 부양자세와 실제 실험을 통하여 얻어진 인체의 부양자세가 유사함을 보임에 따라 개발한 플러그인 응용프로그램은 시뮬레이션 재현성을 가지고 있다고 판단된다. 또한 45.2kg의 디지털 인체 모델을 서로 다른 형태의 구명복을 착용시켜 시뮬레이션한 결과, 예상과 같이 구명복의 착용에 의해 수면에서의 높이가 증가한다는 것을 확인하였다. 그러나 부력재의 배치가 달라지면 디지털 인체 모델의 최종 부양자세 또

한 바뀔 수 있음을 확인함에 따라 구명복 설계에 있어서 부력재의 배치가 중요하다는 사실을 알 수 있었다.

사 사

본 논문은 지식경제부에서 시행한 지식경제 기술혁신사업의 연구비 지원 (과제번호: 10034590)으로 수행되었으며, 위 기관의 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- KITECH, 2001. The development on manufacturing technology of life jacket. KITECH Research Report, 922.
- Lee, D.H., D.E. Kim, S.Y. Kim and G.Y. Park, 2006. 3D digital mockup application of cryogenic butterfly valve, LNG carrier. *SNAK*, 43 (5), 611 – 618.
- Lee, K.W., J.H. Lee, K.H. Kim, S.K. Paik, M.H. Kim and K.H. Chung, 2005. Plug-in based scalable messenger framework. *Proceedings of the annual autumn meeting, Korean society for internet information*, 443 – 446.
- Min, K.C. and D.J. Kim, 2008. A study of musculoskeletal disorders reduction scheme in shipbuilding process using 3D human simulation. *Journal of ocean engineering and technology*, 22 (5), 119 – 125.

2011년 7월 21일 접수

2011년 8월 11일 1차 수정

2011년 8월 13일 수리