

OpenGL를 이용한 스키점프 시각화 도구의 구현

박명철*, 박석규**

The Implementation of Visualization for Ski Jump Using OpenGL

Myeong-Chul Park*, Seok-Gyu Park**

요약

본 논문에서는 OpenGL 그래픽 라이브러리를 이용하여 스키점프 시각화 도구를 구현하였다. 점프의 평가요소 중에서 점프의 거리가 가장 중요한데 이는 양항비에 의해 가장 크게 결정된다. 기존 연구에서는 다양한 영향 인자의 변화에 따른 시각화 도구는 미흡한 실정이다. 본 논문에서는 양항비를 이용하여 사용자에게 직관적인 비행 자세 시각화 도구를 제공한다. 또한 5가지 주요 정보를 입력받아 국제 규격에 맞는 점프대를 실제 구현하였다. 본 논문의 결과물은 더 나은 스키 점프를 위한 참고자료로 활용될 수 있을 것이다.

▶ Keyword : 스키점프, 양항비, 시각화, 오픈지엘

Abstract

In this paper, we implement the ski jump visualization tool using the OpenGL graphics library. Among the evaluation elements of jump, the distance of jump is most important. Also, the distance of jump depends on Lift-to-Drag Ratio. In the previous studies, the visualization too according to the consequential changing of variety factors is insufficient. This study provides an easy style flying posture visualization tool to the user who using Lift-to-Drag Ratio. Furthermore, there is to implement an international standard jumping hill by virtue of entered five main data. The results of this study can be applied with reference data for better ski jump.

▶ Keyword : Ski Jump, Lift-to-Drag Ratio, Visualization, OpenGL

• 제1저자 : 박명철 • 교신저자 : 박명철

• 투고일 : 2011. 10. 10, 심사일 : 2011. 10. 20, 게재확정일 : 2011. 10. 24.

* 송호대학교 보건의료전자과(Dept. of Biomedical Electronics, SongHo College)

** 강원도립대학 컴퓨터인터넷과(Dept. of Computer Internet, GangWon Provincial College)

※ 이 논문은 2011년 한국컴퓨터정보학회 제44차 하계학술대회에서 발표한 논문("양항비를 이용한 스키점프 시각화")을 확장한 것이다.

I. 서론

스키 점프는 선수들이 도약대에서 점프하여 도약의 타이밍, 비행의 완성도, 안정감, 착지자세 그리고 비행거리 점수를 합산하여 승부를 가리는 경기이다. 스키 점프 중북의 기록 향상을 위한 연구는 도약과 착지 시 힘의 균형과 바람의 영향에 대한 영상분석을 통한 기술적 측면과 유체역학적인 이론적 측면에서 이루어지고 있다. 특히 점프 시에 맞바람이 중요한데 이는 비행의 필수요소로서 양력과 밀접한 관계가 있다. 또한 양력은 스키와 바람의 받음각이 중요하게 작용하는데 이는 결과적으로 양항비를 높게 할 수 있다. 그래서 기존 연구는 최대한의 양항비를 유지하기 위한 다양한 연구가 진행되었다. Muller[1]은 풍동 실험을 이용하여 양항비의 기준 값이 최대가 되는 시점을 알아 내었고, 고원중 등[2]은 양항비와 비행 안정성을 고려한 자세의 최적화에 대한 연구를 진행하였다. 그리고 류민형 등[3]은 풍동 실험을 통한 비행 분석을 하였고 박명철 등[4]은 양항비를 이용한 스키점프 시각화에 대한 실험적 결과를 보였다. 그러나 기존 연구는 다양한 영향 인자의 변화에 따른 시각적 요소를 사용자에게 직관적으로 전달하지는 못하였다. 직관적인 전달을 위해서는 적절 시각화 도구가 요구되는데 시각화는 시뮬레이션 결과를 사용자에게 쉽게 인지시키는 도구로 널리 사용되고 있다[5,6,7]. 본 논문에서는 기존에 연구결과물을 이용하여 다양한 영향 인자에 따른 시각화 도구를 구현하였다. 그리고 다양한 점프대에서의 변화를 살피기 위하여 사용자가 입력한 기본적인 5가지 데이터를 이용하여 국제 규격에 맞는 점프대를 실제 구현하였다. 본 논문의 목적은 양항비에 따른 점프의 비거리를 시각적으로 표현함으로써 도약과 비행 시 선수의 특성에 맞는 자세정보를 얻고 다양한 스키 점프대를 시각화하기 위한 것이다. 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 구현 배경에 대해서 살펴보고 3장에서는 실제 시각화 도구의 설계에 대해 기술한다. 4장에서는 구현 결과에 대해 분석하고 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 구현 배경

스키 점프의 단계는 <그림 1>과 같이 크게 4단계로 구분하여 모형을 구성할 수 있다. 첫 단계는 조주 동작 단계이다. 이는 출발 순간부터 스키가 도약대를 진입하는 순간까지를 의미한다. 두 번째 단계는 도약단계로서 스키가 도약대를 진입한

순간부터 도약대 끝부분을 스키가 지나는 순간을 의미한다. 그리고 세 번째 단계는 비행 단계로서 도약대의 끝부분에서 스키가 도약한 이후부터 약 3.5초 때 까지를 의미한다. 마지막 단계는 착지 단계로서 도약 후 3.5초 이후부터 착지 순간까지를 의미한다. 본 논문에서도 시각화의 단계를 이와 같은 4단계로 구분하여 표현한다.

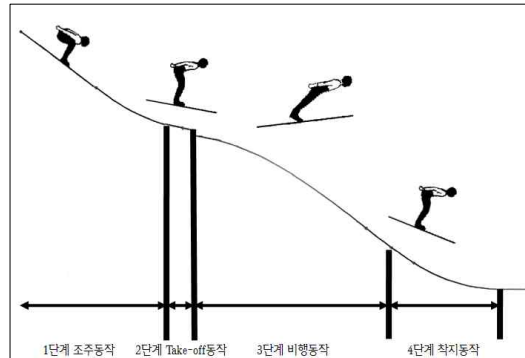


그림 1. 스키점프의 4단계
Fig. 1. four-stage planning of ski jump

이론적으로 비행거리는 전체 소요시간과 밀접한 관계가 있다. 기존 연구[8]에 의하면 점프의 소요 시간은 선수의 신장과 스키의 길이, 선수의 운동 수행 패턴의 차이에 의해 결정된다고 하였다. 그러나 이는 외부적인 변화 요인을 고려하지 않고 정적이 요인의 상관관계로 평가했기 때문에 실제 시각화 영역에 사용되기에는 어렵다. 하지만 비행 단계와 착지 단계의 소요 시간이 길수록 비행 거리가 증가한다는 사실은 확인할 수 있다. 하지만 조주 단계와 도약 단계가 짧다고 해서 비행 거리가 짧아지는 것은 아니다. 비행 거리를 크게 하기 위해서는 양력을 크게 해야 하는데 이는 비행 동작을 짧게 함으로써 상대적인 양력을 증가시킬 수 있기 때문이다. 아울러 비행 단계 시에 비행 속도에 따라 선수가 취하는 관절과 자세 각도 등의 동작 변화를 통하여 최대 양력을 발생시켜야 한다.

비행 단계가 길수록 비행 거리는 증가하는데 이는 비행시간이 길면 회전각을 크게 할 수 있고 도약시의 신체 각도를 최대화하여 관성모멘트의 증가로 신체의 회전 속도를 감소하여 안정된 자세를 취할 수 있게 된다. 실제 비행거리와 이론적인 비행거리의 차이를 최소화하기 위하여 시각화 도구의 구현 시 몇 가지 고려 사항을 둔다. 항력의 작용과 도약시의 방향, 속도, 비행 자세와 관련된 역학적 변이가 그것이다. 이를 통하여 점프 시에 환경을 고려하여 가장 적합한 도약 속도와 자세를 유추할 수 있을 것이다.

<그림 2>에서 보이는 신체 부위의 중요 각도는 받음각(α)과 하체와 스키사이의 각(β), 허리의 구부린 각(γ)을 중심으로

로 시각화 한다. 이는 비행 회전각도와 공격각도를 설정하기 위한 벡터로서 도약과 착지 시에 급격한 공격각도의 변화를 유추하기 위한 용도로 사용한다. 비행 회전각도는 어깨와 무릎 관절을 잇는 벡터와 X축이 이루는 각도로 무릎보다 어깨가 앞쪽으로 위치하면 각도가 작아진다. 이는 무릎이 어깨보다 앞쪽에 있으면 비행 회전각도가 90도 이상임을 알 수 있다. 공격각도는 발과 머리를 중심으로 잇는 벡터와 신체 중심이 이루는 각도를 의미한다. 일반적으로 공격각도는 초기 비행 시에 60도 정도를 유지하고 비행이 지속 될수록 감소하여 전반적으로 30도 이상을 유지하여야 한다.

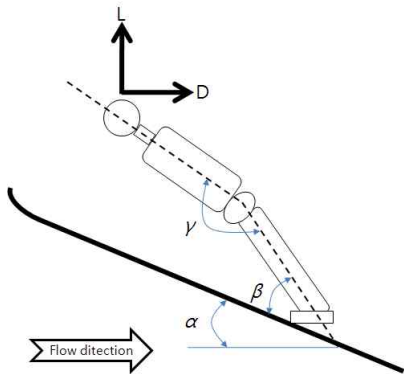


그림 2. 영향 인자에 대한 정의
Fig. 2. Definition of Influence Factor

점프의 소요시간은 도약까지가 61.2%, 착지까지가 38.8%이다. 도약 순간에 최대 수평 속도를 낼 수 있게 자세를 유지해야 한다. 이는 비행 회전 각도가 크지 않은 상태에서 도약을 해야 한다는 것이다. 어깨는 최대한 몸에 가깝게 두고 움직임을 최소화해야 한다.

III. 시각화 도구의 설계

1. 선수의 비행 설계

스키점프에서 비거리는 양력(Lift)과 항력(Drag)의 양항비(L/D)에 의해서 결정된다. 양력은 선수의 윗부분을 지나는 공기의 흐름이 아랫면을 지나는 공기의 흐름보다 빨라서 기압차가 생기고 이로 인해 위를 향하는 힘이 생기는 것을 의미한다. 반대로 항력은 선수가 공기 중에서 비행하고 있을 때 공기에 의해서 진행 방향으로 방해되는 힘을 의미한다. 이는 중력과 선수와 스키의 무게 등에 영향을 받는다.

<그림 1>에서 보는 바와 같이 본 논문에서 사용되는 영향

인자는 스키와 진행방향 사이의 받음각으로 α , 하체와 스키사이의 각을 β , 허리의 구부린 각을 γ 로 정의하였다. 스키를 벌린 각도는 일정하다고 가정하고 논문에서는 고려하지 않았다. 그리고 선수의 신장은 1.73m, 몸무게는 49kg, 스키의 규격은 신장의 146%로 정의하였고 점프전의 진입 속도는 24.25m/s로 부여하였다.

$$L = C_L q S \quad , \quad L = C_L \frac{1}{2} \rho V^2 S \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$D = D_L q S \quad , \quad D = D_L \frac{1}{2} \rho V^2 S \quad \dots\dots\dots (2)$$

양력은 식 (1)과 같이 정의될 수 있다. 여기서, L은 양력이고 C_L 은 양력계수, ρ 는 공기의 질량밀도이다. 그리고 V는 속도, S는 면적(ft²)이다. 식 (2)에서 D_L 은 항력계수를 의미한다. 즉, 양항비는 양력계수와 항력계수에 의해 크게 양항 받음을 알 수 있다.

<그림 3>은 β 값을 9.5°로 하고 γ 값을 160°로 고정하고 α 값을 10°에서 40°까지 변화시키면서 양항비를 측정된 결과이다. 측정결과 받음각 α 값이 19°일 때 양항비가 1.60126으로 가장 높게 나타났다.

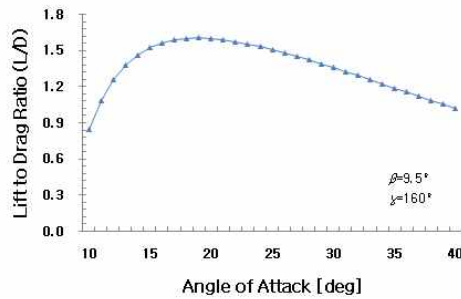


그림 3. 받음각 변화에 따른 양항비
Fig. 3. L/D Ratio on different angle of attack

2. 스키 점프대의 설계

국제스키연맹에서 규정하고 있는 전체적인 점프대의 구조는 [그림 3]과 같다.[9]

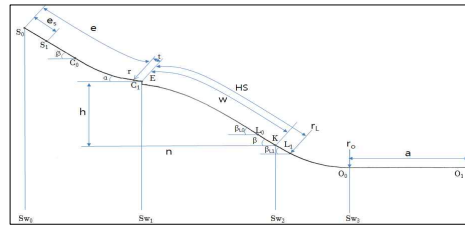


그림 4. 점프대의 구조
Fig. 4. Construction of Jumping Hills

스키 점프대의 구현을 위해서는 <표 1>과 같이 5가지의 기본 인자가 필요하다.

표 4. 점프대 구성을 위한 인수
Table 4. Parameters for composition of jumping hills

인수	의미
HS	도약대부터 착지영역까지의 길이
h/n	경사로의 비율
α	도약대의 경사도
β	K point의 각도
v_0	뿔바람의 속도

여기서, HS는 Hill size로서 그 규격은 엄격히 규정되어 있다. 경사로의 비율(h/n)은 <그림 1>에서 3단계 비행동작에 해당하는 점프대의 규격으로 0.5~0.6 사이의 비율을 가진다. <표 2>는 국제스키연맹에서 규정한 점프대 규격별 허용크기를 보이고 있다. w는 K-point 까지의 허용거리를 의미하며 선수의 비행거리는 K-point의 상대적 지점으로 평가한다.

표 5. 스키점프대의 구분
Table 5. Classification of the ski jumping hills

구분	HS	w (K point)
Small hills	49m and smaller	44m and smaller
Medium hills	50m ~ 84m	45m ~ 74m
Normal hills	85m ~ 109m	75m ~ 99m
Large hills	110m and larger	100m and larger
Flying hills	185m and larger	170m and larger

참고로 국제스키연맹에서 승인된(2011.7.15) 평창에 설치된 알펜시아 점프대는 <표 3> 같다.[10] 실제 구현한 도구에서는 [표 1]에서 설명한 인자를 사용자가 직접 설정하여 다양한 점프대를 구성할 수 있게 하였다.

표 6. 평창의 국제승인 점프대(국제스키연맹[10])
Table 6. Homologated Jumping Hills(Pyongchang)

Zertifikat	Nr.	Name	HS	K	h/n	α	β
365/KOR	3	K98	109	98	0.546	11.0	34.0
366/KOR	4	K125	140	125	0.576	11.0	34.6
367/KOR	5	K60	66	60	0.500	10.0	32.0

실제 구현에서는 Normal hills 점프대를 가시화하는데 사용된 기본 인자는 다음과 같이 지정하고 국제 규격에 맞게 점프대를 구성하였다.

$$\begin{aligned}
 HS &= 100\text{ m} \\
 h/n &= 0.55 \\
 \alpha &= 10.5 \\
 \beta &= 33.0^\circ \\
 v_0 &= 24.25\text{ m/s}
 \end{aligned}$$

HS는 표준 점프대의 경우 85~109m 범위를 벗어날 수 없고 K-point는 식 (3)에 의해 90m로 결정된다.

$$w = 0.885 * HS + 1.5 \dots\dots\dots (3)$$

그리고 도약대와 경사로를 구성하기 위해서는 도약대의 시작지점(C1)까지의 반경과 도약대의 길이를 구해야 하는데 이는 C1 지점에서의 속도 값으로 결정되며 식 (4)와 (5)에 의해 계산된다. 표준 점프대의 경우 도약대의 속도는 초기 속도 v_0 에 대해 0.8~1.0m/s 까지로 허용하여 설계되는데 여기서는 0.85m/s(Δv_0)로 가정한다. 그리고 곡선이 시작되는 C0 지점의 각도는 35로 한다.

$$r = 0.14 * (v_0 + \Delta v_0)^2 \dots\dots\dots (4)$$

$$t = 0.25 * v_0 \dots\dots\dots (5)$$

그리고 가장 높은 시작지점인 S0의 표준적 길이가 85.27m(e)로 지정되면 S0지점부터 S1지점까지의 거리는 진입 속도인 24.25 m/s 를 고려하여 16.5m(es)로 둔다. 이를 E지점을 원점으로 2차원 좌표 값으로 나타내면 <표 4>와 같다.

표 7. 도약대의 2차원 좌표
Table 7. Coordinates of In-run Part

지점	좌표(x, y)
S0	-80.29, 41.81
S1	-66.75, 32.33
C0	-61.07, 28.35
C1	-6.19, 1.15

도약대 끝 지점(E)부터 착지지점 이후까지의 구현은 먼저 높이 h와 넓이 n을 구해야 하는데 이는 다음과 같은 식 (6)과 (7)로 정의된다.

$$h = w * \sin(\arctg(h/n)) / 1.005 \dots\dots\dots (6)$$

$$n = w * \cos(\arctg(h/n)) / 1.005 \dots\dots\dots (7)$$

그리고 K-point의 속도는 통계적으로 V_0 의 68%로 알려져 있는데 이는 L0, L1지점의 경사도에 이용된다. 여기서, V_2 는 $V_0 * 0.68 + 12.44$ 의 계수 값을 적용한다. 식 (8)은 L0의 경사도를 정의한 것이고 식 (9)는 L1의 경사도를 정의

한 것이다.

$$\beta_{L0} = \beta + 2.5^\circ \dots\dots\dots (8)$$

$$\beta_{L1} = \beta - 1.4/v_2 * 180/\pi \dots\dots\dots (9)$$

L1 지점에서 L1과 O0까지의 반경과 O0 지점에서 L1과 O0까지의 반경은 다음과 같이 식 (10)과 (11)로 정의된다.

$$r_L = (v_2 - 16/v_2 - 0.1)^2 / (18 - 10 * \cos(\beta_{L1})) \dots\dots (10)$$

$$r_O = v_2^2 / 20 * \cos(\beta_{L1}) + v_2^2 \beta_{L1} / 7000 - 12.5 \dots\dots (11)$$

마지막으로 착지단계 이후의 거리인 O0에서 부터 O1까지의 거리 a는 식 (12)와 같이 정의된다.

$$a = 18.9 + 1.113 * w - 0.00482 * w^2 \dots\dots\dots (12)$$

계산된 중요 지점에 대한 2차원 좌표 값으로 나타내면 <표 5>와 같다.

표 8. 착지점의 2차원 좌표
Table 8. Coordinates of Landing Hill Part

지점	좌표(x, y)
L0	71.26, -38.25
K	78.47, -43.16
L1	86.71, -48.23
O0	141.08, -64.26

점프대의 전체적인 넓이는 표준 규격에 의해 <표 6>과 같다. 여기서 Sw0는 2.65m보다 커서는 안 된다.

표 9. 점프대의 넓이
Table 9. Widths of jumping hill

지점	넓이(m)
Sw0	2.4
Sw1	5.4
Sw2	18.0
Sw3	20.0

IV. 구현 결과

분석 자료를 바탕으로 호스트 언어는 C++언어로 구현되었고 OpenGL[11]을 이용하여 그래픽을 표현하였다. OpenGL은 산업 표준화된 그래픽 라이브러리로서 향후 내장

형 시스템등에 개발할 때 사용가능성이 유리하다는 장점을 가진다. 그리고 윈도우 기능 및 입출력 제어를 위하여 GLUT(OpenGL Utility Toolkit) 라이브러리를 이용하였다[12]. 그리고 GLUI(OpenGL User Interface Library)를 이용하여 버튼, 체크박스, 라디오 버튼등의 고급 사용자 인터페이스를 제공한다[13].

실제 구현된 도구를 <그림 5>에서 보이고 있다. 이 때 선수의 급격한 자세변화는 공기역학적으로 양력과 항력에 영향을 미칠 수 있기 때문에 본 논문에서는 비행 중 급격한 자세의 변화는 없는 것으로 가정하였다. 스키 점프대의 구조는 3차 2절에서 언급한 국제스키연맹의 표준규격에 준하여 구성하였다.

<그림 5>의 좌측의 메뉴에서 스키어의 신체적 요소와 스키대의 환경적 변수를 사용자가 직접 설정할 수 있게 하였고 실제 구현된 화면은 <그림 6>과 같다.

구현된 결과를 이용하여 신체의 α , β , γ 각도가 시간적 변화에 따라 변화하는 수치를 분석한 결과는 <그림 7>과 같다. 시각화의 결과와 실제 스키 점프의 계측 데이터[4]와 비교해 본 결과, 공기 저항 등의 세밀한 요소에 대한 관계를 정립하지 않았기 때문에 미세한 차이는 있었지만 전체적인 양상을 보이는 시각화 도구의 목적으로는 별 문제가 없었다.

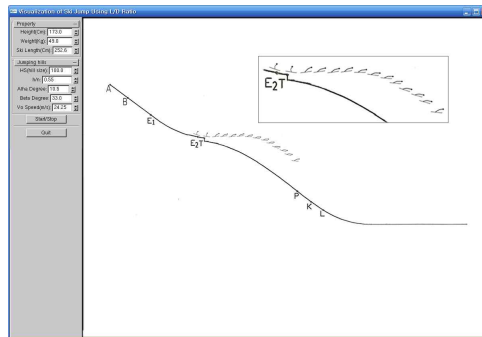


그림 5. 양행비를 이용한 스키점프 시각화
Fig. 5. Visualization of Ski Jump Using L/D

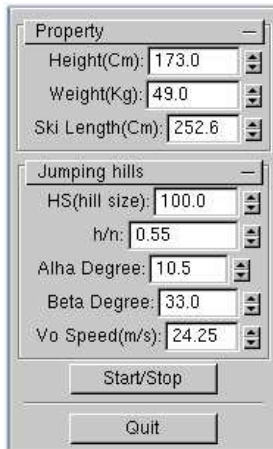


그림 6. 시각화 도구의 메뉴
Fig. 6. Menu screen of tool

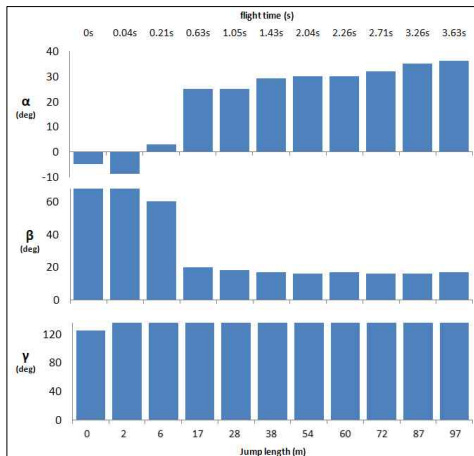


그림 7. 신체 각도의 변화
Fig. 7. Change in body angle

향후 연구에서 다양한 운동역학적인 계수가 적용된다면 더욱 신뢰성 있는 도구가 될 것이다.

V. 결론

본 연구에서는 스키 점프 시에 변화하는 신체 관절의 중요 각도를 중심으로 최적의 양항비를 이용하여 가시화하는 실험적 시각화 도구를 구현하였다. 아울러, 기본 요소 정보를 이용하여 점프대를 설계 및 구현하였고 양상 변화에 따른 점프 모습을 가시화 하였다. 구현된 시각화 도구는 훈련 시 선수들의 다양한 신체 각도변화에 따른 비행거리 등을 실제 동작과 비교하면서 최적의 자세를 유추하는데 이용될 수 있을 것이

다. 향후 연구에서는 다양한 인자에 대한 각도 변화를 실시간으로 보여줄 수 있는 통합 시각화 도구 개발에 대한 연구를 지속할 예정이다.

참고문헌

- [1] Muller, W., "The Physics of Ski Jumping," European School of High-Energy, pp. 278-296, 2005.
- [2] Ko, W. J., Park, M. J., Lee, J. S., Choi, S. G., Hong, J. Y., Choi, K. J., Kim, K. Y., "Optimization of Ski Jumper's Posture Considering Lift-to-Drag Ratio and Aerodynamic Stability in Pitch," Proceedings of KSME Fall Conference, pp. 3273-3277, Nov. 2010.
- [3] Liu, M. H., Kim, H. S., Joe, J. S., "Analysis of Ski Jump Flight by Windtunnel Test," Proceedings of KSAS Spring Conference, pp. 145-148, April 2010.
- [4] Park, M. C., Park, Y. N., "Visualization of Ski Jump Using Lift-to-Drag Ratio," Proceedings of KSCI Summer Conference, pp. 183-184, July 2011.
- [5] Park, M. C., Hur, H. R., "Implementation of the Flight Information Visualization System using Google Earth," Journal of the Korea Society of Computer and Information, Vol. 15, No. 10, pp. 79-86, October 2010.
- [6] Park, S. G., Park, M. C., "3D Visualization for Flight Situational Awareness using Google Earth," Journal of the Korea Society of Computer and Information, Vol. 15, No. 12, pp. 181-188, Dec. 2010.
- [7] Hur, H. R., Park, M. C., "Implementation of the DMM System for Flight Information Visualization," Journal of the Korea Society of Digital Industry and Information Management, Vol. 7, No. 3, pp. 115-121, Sep. 2011.
- [8] Song, Joo-Ho, "A Kinematic Analysis on Ski Jumping," The Korean Journal of Physical Education, Vol. 42, No. 3, pp. 709-720, 2003.
- [9] Standards for the Construction of Jumping Hills - 2008, <http://www.fis-ski.com/>

- [10] Homologated Jumping Hills, <http://www.fis-ski.com/data/document/1.schanzenliste-mit-hs-15.07.2011.pdf>
- [11] Shreiner, Dave, "OpenGL Programming Guide," Addison-Wesley, 2009.
- [12] GLUT - The OpenGL Utility Toolkit, <http://www.opengl.org/resources/libraries/glut/>
- [13] GLUT User Interface Library, <http://glui.sourceforge.net/>

저 자 소 개



박 명 철

2007 : 경상대학교

컴퓨터과학과 공학박사

현 재 : 송호대학교 전임강사

관심분야 : 시각화, 임베디드 소프트웨어, 병렬프로그래밍 및 디버깅

Email : africa@songho.ac.kr



박 석 규

2005 : 경상대학교

컴퓨터과학과 공학박사

현 재 : 강원도립대학 부교수

관심분야 : 소프트웨어신뢰성, 시스템분석

Email : skpark@gw.ac.kr