

# 스케치 입력과 선형 스플라인 곡선을 이용한 3D 항공경로 생성 방법

최정일<sup>†</sup>, 박태진<sup>\*\*</sup>, 손의성<sup>\*\*\*</sup>, 전재웅<sup>\*\*\*\*</sup>, 최윤철<sup>\*\*\*\*\*</sup>

## 요 약

현재 항공기 조종사들이 사용하고 있는 항공기동 도해도 방법은 2차원 공간 표현만을 사용하여, 3차원 정보 입력 시 한계가 있고 이를 직관적으로 이해하는 것이 어렵다. 이를 위해 도입된 항공기동 애니메이션 저작도구들은 사용법이 복잡하고 중간에 비행경로를 수정하거나 다수 비행객체들의 전투 상황을 실시간으로 인터랙티브하게 다룰 수 없다. 본 연구는 항공기동 교육을 위한 애니메이션 시스템 중 3차원 항공경로 생성 방법에 관한 것이다. 본 연구에서는 2D 도해도에 스케치된 초기 입력과 실제 항공기 추력을 계산하여 실제 비행과 유사한 3차원 선형 스플라인 곡선을 생성해 낸다. 제안하는 선형 스플라인 곡선 생성 방법을 이용하여 항공기동 브리핑 및 디브리핑 시에 비행경로를 실시간으로 생성 및 수정하는 것이 가능하고 이를 애니메이션으로 즉시 표현할 수 있다.

## 3D Flight Path Creation using Sketch Input and Linear Spline Curves

Jungil Choi<sup>†</sup>, Tae-Jin Park<sup>\*\*</sup>, Eisung Sohn<sup>\*\*\*</sup>,  
Jaewoong Jeon<sup>\*\*\*\*</sup>, Yoon-Chul Choy<sup>\*\*\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

Current flight maneuver diagram used by pilots is based on 2D spatial presentation, so it has limitation on display 3D flight information and hard to understand it instinctively. Flight animation authoring tools for this diagram are complex to use and lack useful features like non-linear editing of flight path and real-time interactivity on multiple aircrafts. This research focuses on 3D flight path generation method in the animation system for flight maneuver education. This research combines initial sketch input on 2D diagram with the thrust of an aircraft to generate 3D linear spline as close as to real flight. Using suggested linear spline creation method, the flight path can be visualized, edited, and animated in real-time at the flight maneuver briefing and debriefing.

**Key words:** Interactive Flight Animation System(인터랙티브 항공 애니메이션 시스템), Flight Path Creation(항공경로 생성), Linear Spline Curves(선형 스플라인 곡선)

\* 교신저자(Corresponding Author): 박태진, 주소: 서울시 서대문구 신촌동 134 연세대학교 제3공학관 멀티미디어 그래픽스 연구실 507호(120-749), 전화: 02-393-7663, FAX: 02-393-7663, E-mail: parktj2003@gmail.com  
접수일: 2009년 12월 28일, 수정일: 2010년 3월 22일  
완료일: 2010년 6월 11일

<sup>†</sup> 준회원, 연세대학원 컴퓨터과학과 석사  
(E-mail: backdama@nate.com)

<sup>\*\*</sup> 준회원, 연세대학교 컴퓨터과학과 박사과정

<sup>\*\*\*</sup> 준회원, 연세대학교 컴퓨터과학과 통합과정  
(E-mail: essohn@gmail.com)

<sup>\*\*\*\*</sup> 준회원, 연세대학교 컴퓨터과학과 박사과정  
(E-mail: demibblue@gmail.com)

<sup>\*\*\*\*\*</sup> 종신회원, 연세대학교 컴퓨터과학과 교수  
(E-mail: ycchoy@rainbow.yonsei.ac.kr)

※ 이 논문은 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2008-313-D01012).

## 1. 서 론

현재 조종사들이 사용하고 있는 2차원 항공기동 도해도 방법은 단순한 형태의 기동만이 표현 가능하여 항공기 자세나 추력, 적기의 복잡한 대응 등을 표현하기 위해서는 도해도 작성이 복잡해지거나 표현이 불가능하다. 기동도해도 대부분은 2차원의 좌표 평면에 전투기의 비행경로를 그리고, 상승과 하강에 대한 표현을 도식화함으로써 조종사에게 이해되고 있지만, 이는 조종사의 경험과 3차원에 대한 상상력에 의존하는 대략적인 이해일 뿐 정확한 3차원의 비행경로라고 말할 수는 없다. 3차원 공간상에 존재하는 비행객체의 움직임에 대한 올바른 이해는 3차원 애니메이션을 통해서만 가능하다.

일반 애니메이션과는 달리 항공기동 애니메이션을 제작하는 데는 많은 제약 사항이 따른다. 일반 애니메이션의 경우 사용자가 원하는 방향 및 움직임 그리고 속도에 대하여 자유롭게 표현 및 제작이 가능하지만, 항공기는 추력, 항력, 양력, 중력이 복합적으로 작용하며 시간에 따른 기동에 한계를 가지고 있기 때문에 사용자가 마음대로 그려낸 항공경로를 애니메이션에 반영한다면 이는 실제 항공경로의 자료가 만들어지는 것이 아니라 가상의 애니메이션만이 위한 쓸모없는 자료가 된다.

본 연구는 항공기동 교육을 위한 애니메이션 시스템 중 항공경로 생성 방법에 관한 것이다. 기존 스케치 기반 3D 공중기동 애니메이션 시스템[1]에서는 단위경로 스케치 기법을 제안하여 프레임기반의 애니메이션 제작에 비해 적은 사용자 입력만으로도 항공기동 애니메이션을 제작할 수 있었다. 이때 사용자 임의로 입력한 스케치 곡선을 B-spline 곡선을 이용하여 부드러운 3차원 항공경로로 생성하였다. 하지만 위 방법은 항공기 제원을 고려하지 않았고 브리핑 시 경로를 사용자가 의도한 대로 수정하기 힘들다는 단점이 있었다.

본 연구는 기존 애니메이션 시스템 중 항공경로 생성방법을 개선한 것이다. 즉, 항공기 조종사는 스케치 인터페이스를 이용하여 초기 비행경로를 입력하고, 시스템은 실제 항공기 추력을 계산하여 실제 비행경로와 유사한 비행곡선을 생성해 낸다. 제안하는 비행경로 생성 방법은 빠른 계산이 가능하여 브리핑 및 디브리핑 시 즉각적인 경로 수정과 애니메이션

생성이 가능하다. 또한 기존 시스템에서 문제가 되던 비행경로 수정 시 직관적인 컨트롤이 어렵다는 문제를 선형 스플라인 곡선을 이용하여 해결한다.

## 2. 관련 연구

최근 스케치 입력을 기반으로 하는 인터랙티브 애니메이션 기법들이 다양하게 연구되고 있다. 가장 대표적인 연구로는 사용자가 직접 애니메이션 구성 오브젝트들을 작성하고 각 객체들에 대한 움직임을 지정하는 Motion by Example 기법이 있다[2]. K-Sketch[3]는 프레임기반 애니메이션 제작 방법을 사용하여 간편하고 빠르게 애니메이션을 생성할 수 있으나 세밀한 모션 보정 및 편집이 어렵다. Race-Sketch[4]는 보트 레이싱 애니메이션을 위한 시스템으로 컨트롤 포인트 조절 방법으로 경로의 재수정이 용이하다. TS-Animation[5]는 모션과 경로를 트랙 개념으로 기록하고 객체 간 시작시간과 종료시간을 조절해 줄 수 있다. A Two Layered Approach for Animation Sketching[6]은 웹페이지 내에서의 생성, 공유, 협업 지원하고 세밀한 모션의 보정 및 편집 인터페이스 지원을 특징으로 한다.

Race-Sketch[4]는 각 이동 객체 간의 애니메이션 타이밍 컨트롤을 위해 경로를 따라 컨트롤 포인트를 설정하고 이를 동기화하는 방법을 소개하였다. 그림 1에서와 같이 각 보트 경로 상에 원하는 지점을 컨트롤 포인트로 설정하고 설정된 컨트롤 포인트를 기준으로 각 보트 간 시간동기화 보정이 가능하다. 동기화된 시간에 도달하기 위해 컨트롤 포인트와 이동경로가 비율에 맞게 재조절이 되긴 하지만 전체적인 애니메이션 시간조절이 힘들다는 단점이 있다. 이와 같은 컨트롤 포인트를 이용한 인터랙티브 애니메이션 방법은 항공기동 애니메이션 시스템에서도 매우 유용하게 쓰일 수 있다. 하지만 소수의 컨트롤 포인트를 사용하여 시간동기화가 이루어 질 경우에는 손쉽게 목표를 달성할 수는 있으나, 다수의 제약사항이 있는 이동객체를 표현하기 위해서는 전체적인 애니메이션이 왜곡되는 현상이 발생한다. 즉, 항공기동과 같이 이동객체별 개별 속성 지정이 필요하고 항공기 추력 등을 표현하여 현실감 있는 비행 애니메이션을 제작하기 위해서는 새로운 항공경로 생성 방법이 필요하다.

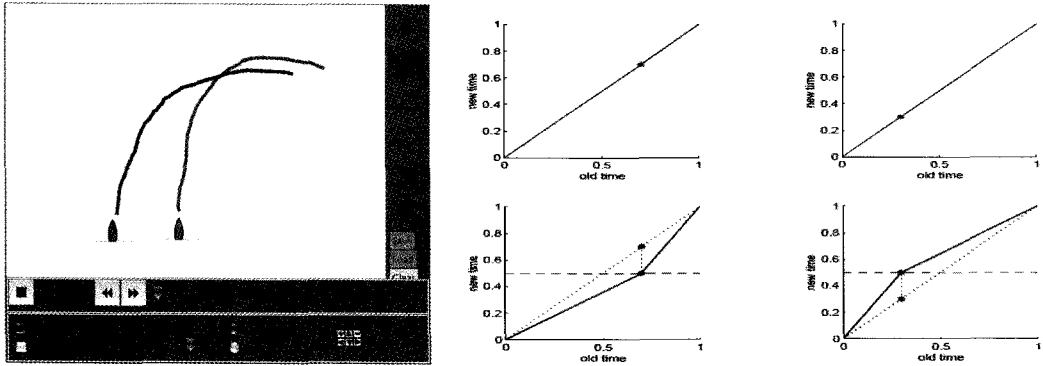


그림 1. Race-Sketch에서의 컨트롤 포인트 수정

### 3. 제안하는 방법

기존 항공기동 애니메이션 시스템은 그림 2와 같이 2차원의 좌표평면(Plan View)에 객체식별자, 속도, 거리, 고도 등을 명시하고, 다수 항공기간의 상대적 움직임을 도해도에 기입하는 방식으로 입력한다. 시스템에서는 입력된 2차원 도해 정보를 해석하여 3차원 공간상의 항공경로 생성 및 비행객체를 표현하고 애니메이션을 보여준다.

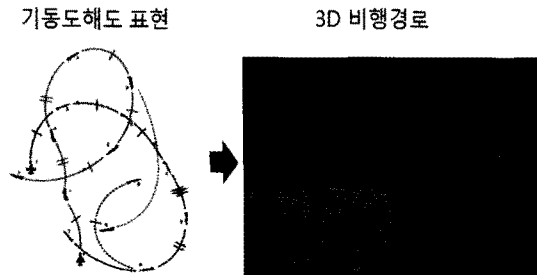


그림 2. 기동도해도 입력과 3차원 비행경로 표현

#### 3.1 선형 스플라인 곡선을 이용한 비행경로 생성

비행경로는 3차원 공간에서 직선 및 곡선의 공간적 연결로써 표현될 수 있다. 본 연구에서는 선형 스플라인 곡선을 기본으로 각 컨트롤 점들에 대한 수정 정보를 입력받아 사용자가 의도한 비행경로와 가장 유사한 곡선을 생성한다. 여기에서 비행경로의 모든 정보를 스케치 입력으로만 받는다는 것은 비현실적이기 때문에 비행객체의 추력정보는 시스템에서 자동 계산하게 된다. 먼저 사용자는 2D 좌표평면 상에서 항공기 비행경로를 스케치로 입력한다. 입력된 단

위 비행경로는 원의 일부분으로 표현될 수 있으며 중심점과 반지름, 호의 길이를 이용해 이를 표현하면 아래 그림 3과 같다.

그림 3에서 초기위치( $x_0, y_0$ )에서 항공기 방향은 미리 지정되어 있다. 초기방향에서 수직성분에 호의 중심이 되는 점이 있기 때문에  $r_k$ 를 점진적으로 증가시키며,  $x_i$ 에서 스케치로 입력받은 값  $y_i$ 와 선형 스플라인 곡선이 적용된 호의 값  $y_i'$ 의 차를 제곱한 값의 총합 중에서 최소가 되는 값을 가진 R로 결정한다.

이때 호의 중심은  $(x_0 + R, y_0)$ 이며 선회량은 단위 비행경로의 마지막 점인  $(x_{last}, y'_{last})$ 을 이용하여 초기위치와 삼각함수를 이용하여 계산한다. 단위 비행경로를 지속적으로 생성해 간다면 새로운 기준에서 계산은 보다 복잡해지기 때문에 초기 선회량 만큼 좌표 변환하여 초기 기준선과 동일한 위치로 이동시켜 다시 선형 스플라인 곡선을 적용한다. 즉, 호의 중심과 선회량을 계산한 후에 다시 원래의 위치로 좌표 변환하여 전체적인 비행경로를 완성해 간다.

초기 스케치 기반으로 입력받을 경우, 입력은 편리하지만 손떨림 등으로 입력 정밀도가 떨어지기 때문에 지속적으로 기준선을 표시하여 보다 정확한 스케치가 될 수 있도록 고안하였다. 완성된 비행경로는 아래 그림 4와 같이 단순한 점의 형태에서 연속적인 호 함수로 또는 호의 연결로 사용자가 의도한 형태의 비행경로로 표현된다.

2차원 좌표평면에서 입력한 정보는 3차원 애니메이션을 위해 Z값 추가가 필요하다. 좌표평면상에서 입력받은 상승각은 순차적으로 상승 및 강하에 따라서 동일한 변화율을 갖게 되지만, 그에 따른 고도의 상승 및 강하는 단순한 비례적 상승 및 강하에서 벗

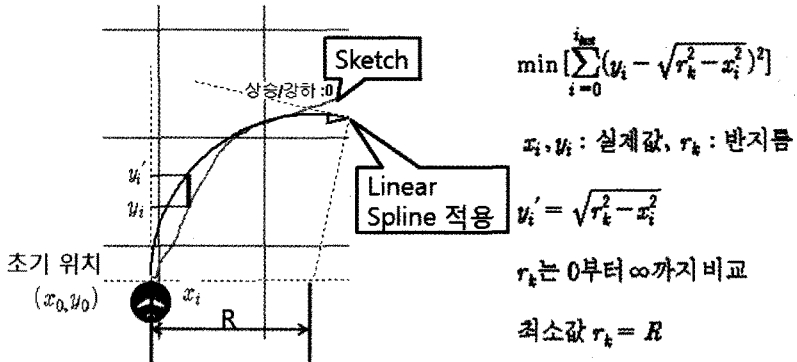
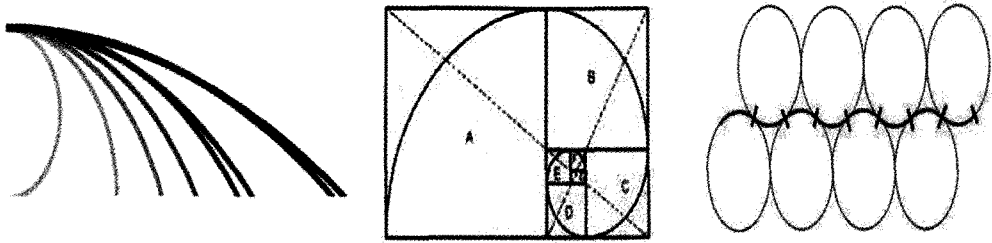


그림 3. 선형 스플라인 곡선을 이용한 단위 비행경로 표현

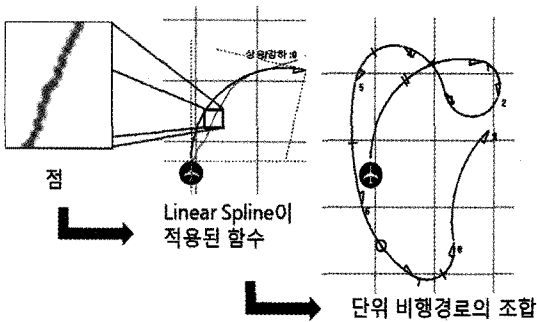


그림 4. 연속된 비행경로의 예

어난다. 예를 들어 수평비행하고 있는 항공기에 대하여 5초간 5°의 변화가 있다고 가정하면 1초마다 상승각은 1°씩 상승한다. 그에 반해 고도는 초기 1초 동안에는 0°에서 1°로 변화하여 그 고도값이 거의 변화가 없지만, 마지막 1초 동안에는 4°에서 5°로 변화하는 것이기 때문에 고도의 상승은 초기 1°와 비교할 수 없이 크게 된다. 이러한 고도변화는 상승 및 강하각이 수직으로 갈수록 그 폭은 기하급수적으로 증가한다.

초기 수평상태에서 지속적으로 상승각을 증가시키면 90°일 때 최대치가 되며 이후 180°가 되면 배면 수평상태가 되며 270°가 되면 강하 90°와 동일하게 표현되고, 최종적으로 360°가 되면 수평으로 환원되는 상태가 된다. 본 연구에서는 이러한 상승 및 강하

각에 따른 고도변화를 위하여 그림 5와 같이 사인곡선(sine curve)을 적용하여 사실적으로 항공경로를 계산하였다.

사인곡선을 적용한 경로계산은 지속적인 상승각을 주었을 경우 배면 수평상태까지는 고도가 상승하고, 초기 수평상태가 되는 360° 회전까지는 고도가 강하하는 수직성분으로의 원을 그린다. 이때 상승률 최소값이 되는 270°는 강하율의 최대값과 같아지며 이와 반대로 상승률 최대값이 되는 90°는 강하율의 최소값과 같다.

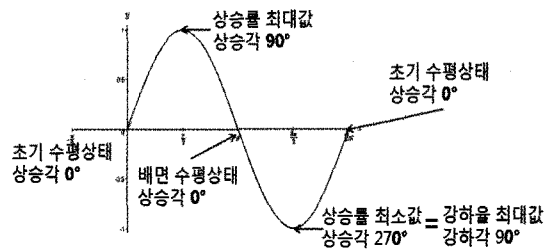


그림 5. 사인곡선을 적용한 고도 계산 방법

### 3.2 사용자 인터페이스

본 절에서는 제안하는 시스템의 사용자 인터페이스를 살펴본다. 우선 항공기 조종사들이 기존 기동도

해도를 작성방법을 살펴보면, H/D(Heading), 고도, 속도를 입력하여 항공기 기동을 표현한다. 통상적으로 일정한 시간간격으로 기동을 그려나가는데, 그 이유는 항공기의 상태는 지속적으로 변화하지만 짧은 단위시간 속에서는 그 상태가 유지된다고 가정하기 때문이다. 항공기의 가속도는 시간에 대한 함수로 표현되기 때문에 지속적으로 변하는 H/D, 고도, 속도를 표현하기 대단히 어려우며 실제로 데이터를 추출하기도 힘들다. 그렇기 때문에 항공기의 수평상태의 기동은 단위시간동안에 원의 일부인 호의 형태로 표현할 수 있다. 만약, 더 정확한 기동을 얻기 위해서는 단위시간을 극한으로 줄이면 보다 정확한 경로를 얻을 수 있다. 그러나 그 노력에 비해 얻는 결과물에 양호하지 않기 때문에 통상 3~5초 시간을 기동단위로 사용하고 있다. 그림 6은 단위 비행경로 입력 시 급강하, 강하, 수평, 상승, 급상승을 각각 표현한 것이다.

상승선회 및 강하선회 같은 경우 원의 중심이 2차원이 아닌 3차원 공간상에 존재하기 때문에 가장 유사한 형태의 2차원의 원으로 대체하여 도해를 실시한다. 항공기 기동형태는 기동단위 시간의 합으로 표현할 수 있는데, 이러한 기동을 연결할 경우에도 항공기 H/D의 변화는 급격한 변화를 할 수 없는 형태로 표현된다. 기존 연구에서 사용한 이러한 요소만으로 표현된 공중기동 경로는 단지 애니메이션으로만 가능한 가상의 항공경로이고 실제 항공기가 기동할 수 없는 범위로 제작될 경우가 많이 발생한다. 본 연구에서는 이를 방지하기 위해 항공기에 작용하는 추력, 항력, 양력, 중력을 바탕으로 항공기 성능을 나타내는 대표적인 지표 중에 하나인 잉여추력( $P_s$ : Specific Excess Power)을 포함하여 항공경로를 계산하도록 제안한다.

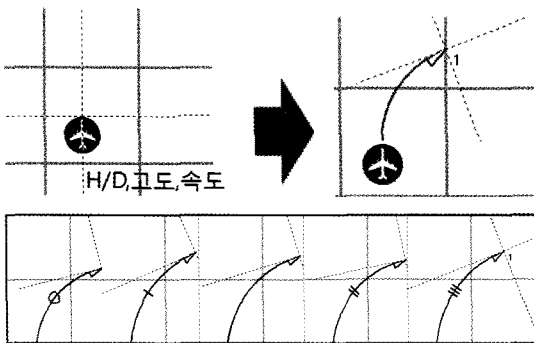


그림 6. 기동도해 입력 인터페이스

$P_s$ 는 “현재 비행기가 추가로 사용할 수 있는 에너지 값”을 의미한다. 플러스(+) 값을 가지는 구간에선 에너지가 남으며, 마이너스(-) 값을 가지는 구간에선 에너지가 모자르게 된다. 절대치가 높을수록 그 정도가 심하다는 걸 나타내며  $P_s$ 의 수학적 표현은 아래 식 1과 같다.

$$P_s = \frac{V_T}{g} a + V_V \tag{1}$$

여기서  $V_t$ 는 기동 시작 시 TAS 즉 선속도(상수)이고,  $a$ 는 선속도 변화량이고,  $g$ 는 중력가속도이고,  $V_v$ 는 수직속도/상승속도(Vertical velocity)를 나타낸다. 항공기의 대표되는 성능 중의 하나인  $P_s$  값을 일반 공개 자료에서 참조하기란 거의 불가능하며 본 연구에서는 실제와 유사한 값을 시뮬레이션하여  $P_s$  값을 계산하고 사용하였다.

상승률 및 강하율 입력은 사용자가 항공기 비행경로를 스케치 한 이후에 상승 및 강하에 대한 입력을 바 클릭을 통하여 입력할 수 있도록 구현하였다. 바 형태 인터페이스는 변화량의 정도를 직관적인 인지할 수 있다는 장점이 있다. 그림 7과 같이 상승을 위해서는 단순히 마우스를 위로 움직여 붉은색의 크기 바를 조절하고, 강하를 위해서는 이와 반대로 아래방향으로 움직여 파란색의 크기 바를 조절한다. 상승/강하 바 좌측중앙에 정확한 양을 판단하기 위한 수치를 추가적으로 표현하여 빠른 입력과 동시에 정확한 정보를 선택할 수 있으며, 단위 비행경로에 대한 상승/강하의 최대값과 최소값을 적용할 수 있어 보다 사실적인 비행경로를 구현하였다. 그림 8은 제안하는 시스템의 전체적인 인터페이스이다. 3대의 항공기가 각기 개별적인 비행경로를 단위시간으로 그려지면 자동적으로 단위시간 순서가 숫자로 표현되고 이는 검정색 선의 1번 위치에 있을 경우 파란색 및 붉은색 선도 1번 위치에 있음을 나타낸다. 사용자는 이러한 단위시간 순서 표시를 이용하여 순차적으로

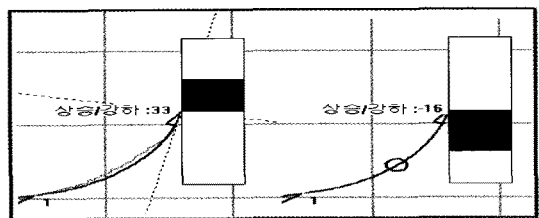


그림 7. 상승률 및 강하율 적용 인터페이스

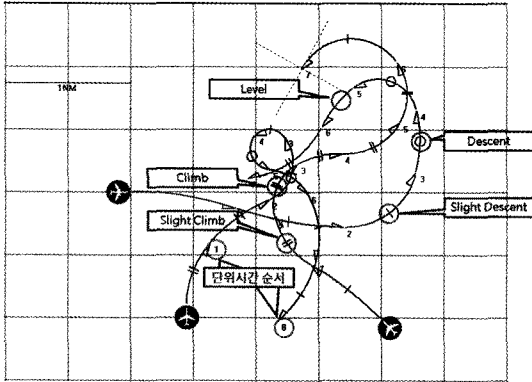


그림 8. 단위 비행경로 입력 방식의 인터페이스

항공기 기동을 입력하게 된다.

### 3.3 애니메이션 시스템

제안하는 전체 시스템 구성도는 다음 그림 9와 같다. 전체 시스템은 선형 스플라인 곡선이 적용된 비행경로와 상승/강하에 대한 정보를 기반으로 3차원 데이터로 변환하는 과정, 각각의 단위 비행경로를 객체별로 분류하여 저장하는 과정, 마지막으로 저장된 경로들의 조합을 통해 애니메이션으로 시현하는 과정으로 구분된다.

애니메이션 시스템은 사용자로부터 비행경로를 입력받고, 그려진 비행경로에 선형 스플라인을 적용하여 연관성이 있는 점들을 2차원 함수로 변환하게 된다. 이때 컨트롤 포인트에 적합한 항공경로 함수를 추출을 위하여 단위 비행경로에 대한 반지름을 찾는 작업을 수행한다. 이후에 상승 및 강하에 대한 정보를 사용자 마우스 입력으로 입력받고, 고도 변화를

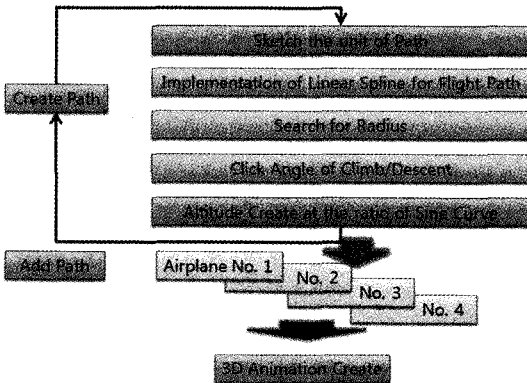


그림 9. 전체 시스템 구성도

사인값 연산을 통하여 산출하게 된다. 마지막으로 생성된 2차원 항공기동 도해를 이용하여 고도 값(Z 값)을 적용하고 이를 그림 10과 같이 3차원 애니메이션으로 생성해낸다.

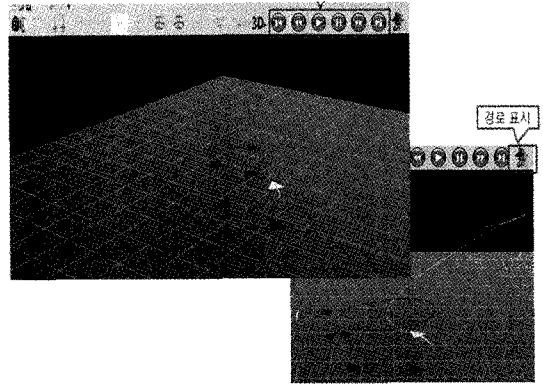


그림 10. 3D 비행경로 애니메이션의 예

## 4. 구현 및 실험

본 연구는 Windows XP에서 Microsoft Visual Studio 2008 C++, OpenGL을 이용하여 구현하였다. 그림 11은 전체적인 구현 화면이다. 비행경로 입력에 필요한 버튼과 브리핑을 위한 3차원 애니메이션 제어버튼이 상단에 위치하게 된다. 입력에 필요한 모든 정보는 경로를 스케치 할 때마다 실시간으로 좌표평면의 각 비행경로 상단에 시현되며, 각 단위별 스케치가 종료되면 고도 적용을 위한 상승 및 강하각이 시현 화면에 바 형태로 나타나게 되고 이전 비행경로에 따른 상승 및 강하를 선택할 수 있다. 이는 항공기의 자세를 계속적으로 모니터링하여 원하는 경로 생성

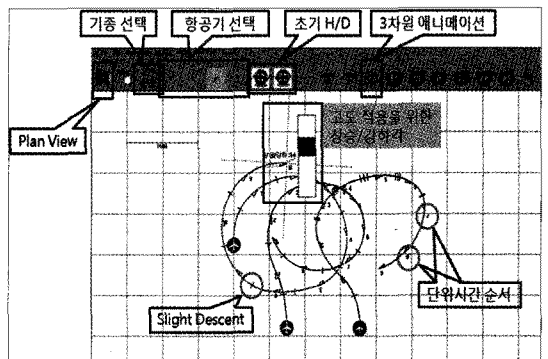


그림 11. 구현 결과

에 도움을 준다.

본 연구의 실험은 표 1과 같이 진행되었다. 표 1은 실험에 대한 평가 항목이다. 실험은 기존 애니메이션 시스템을 사용하는 그룹 A와 제안하는 시스템을 사용하는 그룹 B를 비교하여 진행하였다. 실험 대상자는 항공기 비행 경험이 있는 조종사를 5명과 비행 경험이 없는 일반인 5명을 선정하였다. 각 실험자들은 그룹 A와 그룹 B에 임의적으로 할당되었다.

실험을 위해 조종사들이 기본적으로 익히는 그림 12와 같은 항공 기동형태에 대하여 설명하였고 동일한 기동을 기존 애니메이션 시스템과 제안하는 시스템을 활용하여 제작토록 하였다. 실험에 앞서 애니메이션이 구현되는 방식에 대하여 시범 및 실습의 형태로 진행하였고 실험자 스스로 시스템에 적용하는 시간을 총 20분 제공하였다. 실험은 3종류의 항공기동을 5회 반복 제작하도록 계획하였고, 실험 결과는 분산 분석 방법을 이용하여 분석하였다.

표 1. 평가 항목

실험	구분	평가 항목
1	경로 재수정	비행경로 생성 및 수정이 의도한 바와 같이 작동하는가?
2	정확성	생성된 비행경로가 실제 비행과 유사하게 생성되었는가?

실험 1에서는 실험자가 항공경로를 완성하는 동안 경로를 재수정하는 횟수를 세어 기록하였다. 실험 2에서는 완성된 항공경로를 애니메이션하고 전문가가 이를 성공실패 유무로 측정하였다. 아래 그림 13은 실험 결과이다. 분산 분석 방법을 이용하여 분석한 결과 유의 수준  $p=0.05$  수준에서 그룹 A와 그룹 B는 평균 수정 횟수에 차이가 있음을 밝혔다. 즉, 기존 B-spline 방식으로 경로를 수정하며 항공경로를 제작하는 방식에 비해 제안하는 선형 스플라인 곡선을 이용한 경로 생성 방법이 더 효과적으로 경로를 생성함을 알 수 있었다. 또한 제작된 애니메이션의 정확성 또한 전문가의 판단 기준으로 더 정확함을 밝혔다.

### 5. 결론 및 향후 연구

항공기 및 기타 비행체의 공중기동을 3차원 애니메이션으로 표현하기 위해서는 프레임 기반의 애니메이션이나, 전문 항공기 시뮬레이션 기법 적용을 적용하여 제작할 수밖에 없었다. 이러한 애니메이션 제작을 위해서는 많은 시간과 노력이 필요하며 애니메이션에 대한 지식이 없는 항공기 조종사의 경우 많은 어려움이 있다.

본 논문에서 제시하는 스케치 입력을 사용한 공중기동 애니메이션 제작 기법은 다수의 항공기에 대해

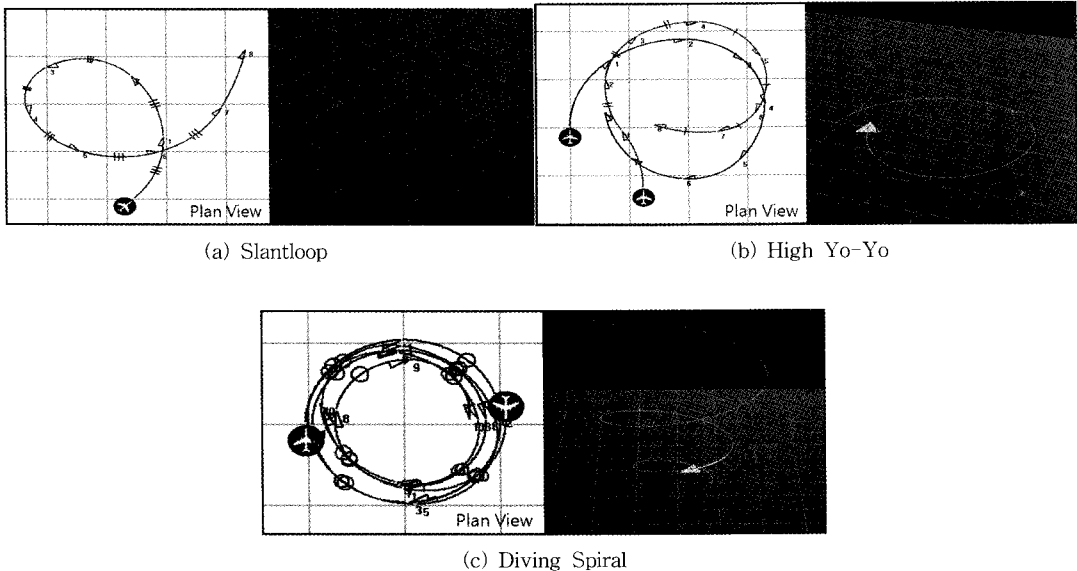


그림 12. 실험에 사용된 항공기동

횟수	그룹 A		그룹 B	
	평균 수정횟수	성공	평균 수정횟수	성공
1	10	4	5	5
2	9	3	2	4
3	8	2	3	4
4	5	4	3	5
5	5	5	4	3
6	9	3	5	5
7	6	4	6	5
8	11	4	5	3
9	12	2	5	4
10	8	3	6	5
11	15	4	6	5
12	14	3	8	4
13	13	4	8	3
14	12	3	9	4
15	13	2	10	4

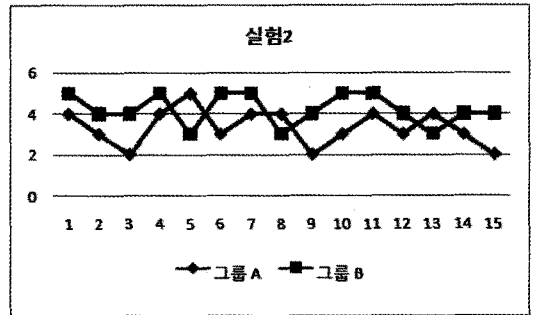
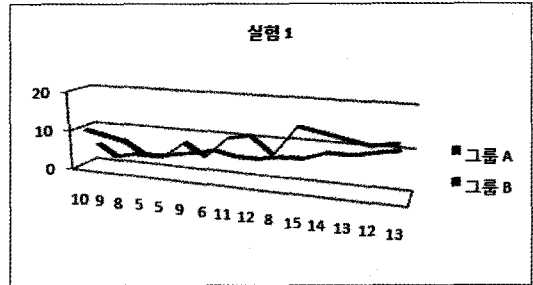


그림 13. 실험 결과

쉽고 빠르게 공중기동을 표현하고 애니메이션으로 제작할 수 있는 장점이 있다. 또한 제안하는 비행경로 생성 방법은 사용자가 원하는 비행경로를 기준도해도 방식과 유사하고 빠르게 표현할 수 있으며, 즉시 3차원 좌표 생성이 가능하다. 단위경로 입력과 선형 스플라인 곡선을 이용한 항공경로 생성 방법은 항공기 성능을 바탕으로 하는 Ps값을 적용이 수월하고, 다른 곡선 표현에 비해 직관적인 경로 수정이 가능하여 애니메이션의 경로 제어와 정밀도 문제를 해결할 수 있었다.

향후 개선해야 할 점은 스케치 기반 기동도해도와 실제 항공 기동도해도를 상호 비교하여 더욱 실제와 가까운 비행 표현이 가능하고, 보다 세밀하게 컨트롤을 표현할 수 있어야 하겠다. 또한 3차원에서 각 항공기별 성능을 시각화[7]하는 연구가 필요하고, 각 무장영역에 대한 부분도 반영되어 무장을 발사할 수 있는 영역으로의 진입을 위한 기동[8,9]을 표현하도록 개선해야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] 김상진, "스케치 기반 3D 공중기동 애니메이션 시스템," 연세대학교 석사논문, 2008.

[2] Barbara T., Julie B. M., and Mireille B. "Animation: can it facilitate," *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 57, issue 4, pp. 247-262, 2002.

[3] Richard C. Davis, Brien Colwell, and James A. Landay, "K-Sketch: A Kinetic Sketch Pad for Novice Animators," In CHI '08: Proceeding of the twenty-sixth annual SIGCHI Conference on Human factors in computing systems, pp. 413-422, 2008.

[4] Moscovich and J. Hughes, "Animation sketching: An approach to accessible animation," Unpublished Master's Thesis, C. S. Department, Brown University, 2001.

[5] G. Wu, D. Wang, and G. Dai., "TS-Animation : A Track-Based Sketching Animation System," *Lecture Notes In Computer Science*, vol. 5093, pp. 581-592, 2008.

[6] Eisung Sohn, Jaewoong Jeon, Tae-Jin Park, Won-Sung Sohn, Soon-Bum Lim, and Yoon-Chul Choy, "A Two Layered Approach for Animation Sketching," *Journal of Korea Multimedia Society*, vol. 12, no. 12, pp.



1736-1744, Dec 2009.

- [7] 송진오, 박태진, 김종석, 최윤철, “항공기 상태전 이정보를 이용한 비행경로 시각화 기법 연구,” 한국정보과학회 2007 가을 학술발표 논문집, 제 34 권, 2호(B), pp.172-177, 2007.
- [8] 김홍대, “3차원 비행궤적 구현에 따른 데이터 보 정기법 연구,” 한밭대학교 석사논문, pp.1-5, 2004. 8.
- [9] J. Durbin, J. Edward Swan, and Tony King. “Battlefield Visualization on the Responsive Workbench,” Proc. IEEE Visualization 98, ACM Press, New York, pp. 463-466, Oct 1998.



**최 정 일**

1998년 공군사관학교 학사  
 2010년 연세대학원 컴퓨터과학과 석사  
 관심분야: 3D 애니메이션 시스템, 스케치기반 인터페이스, 정보시각화



**박 태 진**

1993년 연세대학교 컴퓨터과학과 학사  
 1995년 연세대학교 컴퓨터과학과 석사  
 2005년 LG전자 DTV연구소 책임연구원  
 2006년~현재 연세대학교 컴퓨터 과학과 박사과정  
 관심분야: 임베디드 멀티미디어 시스템, 스케치기반 인터페이스, 정보시각화



**손 의 성**

2004년 홍익대학교 기계공학과 학사  
 2005년~현재 연세대학교 컴퓨터 과학과 통합과정  
 관심분야: 3D 애니메이션, 스케치기반 인터페이스



**전 재 웅**

2003년 연세대학교 컴퓨터과학과 학사  
 2006년 연세대학교 컴퓨터과학과 석사  
 2006년~현재 연세대학교 컴퓨터 과학과 박사과정

관심분야: 3D 애니메이션, 스케치기반 인터페이스, NPR



**최 윤 철**

1973년 서울대학교 학사  
 1975년 Univ. of Pittsburgh 석사  
 1976년 Univ. of California, Berkeley 석사  
 1979년 Univ. of California, Berkeley 박사.

1984년~현재 연세대학교 컴퓨터과학과 교수  
 관심분야: 컴퓨터 그래픽스, 스케치기반 인터페이스, 멀티미디어 문서처리