

컴퓨터를 통한 창의력 수학 프로그램 개발¹⁾

조 한 혁 (서울대학교)

안 준 화 (서울대학교 대학원)

우 혜 영 (서울대학교 대학원)

본 연구에서는 LOGO를 개발한 Papert의 철학에 따라 아동이 자유롭게 학습할 수 있는 Microworld를 통해 수학을 새로운 관점에서 접근하고, 아동에 맞게 수학을 재구성하여 제공한다는 적극적인 교육적 배려에서 정규교육과정(교실), 특기적성, 자기 주도 학습 등 다양한 학습 환경에 가능한 컴퓨터 창의력 수학 프로그램을 개발하고자 한다. 많은 관심에 비해 창의력 교육이 구체적으로 학습과 관련되어 있지 않고, 체계적인 교육과정을 따라 이루어지지 않고 있으며, 컴퓨터 교육 역시 한글 워드나 Excel과 같은 기능 위주의 학습으로 컴퓨터 학습에서 기대하는 알고리즘 학습은 소홀히 다루는 문제점이 있다. 이러한 창의력 교육과 컴퓨터 교육에 대한 문제점에 주목하여 학교 교과과정과 연계된 컴퓨터 알고리즘 학습과 수학 학습이 함께 가능한 컴퓨터를 통한 수학적 창의력 향상 프로그램을 개발하고자 한다. 이에 학교 교과과정에 연계하여 컴퓨터 알고리즘 학습과 수학적 창의력 향상에 적합한 매체로 LOGO 마이크로월드를 택하고, 이를 이용한 컴퓨터 창의력 수학 프로그램이 가지는 특징을 살펴본다. 이렇게 개발된 프로그램은 검증을 위해 봄학기 초등학교에서 실험연구가 계획되어 있다.

1. 서론

7차 교육과정에서는 기술공학의 발달을 반영한 교육 정보화 요구에 따라 교실에서의 컴퓨터의 이용과 교육을 권장하고 있다. 또한 영재교육에의 관심이 증대됨에 따라 창의력을 신장시켜주는 교육 프로그램이 강조되고 있다. 그러나 기존의 컴퓨터 교육이나 창의력 교육의 내용을 살펴보면 문제점을 발견할 수 있다. 먼저 컴퓨터 교육의 경우, 한글 워드나 엑셀과 같은 기본적인 컴퓨터 사용능력을 기르는 기능위주의 교육이 대부분이다. 이러한 기능 위주의 컴퓨터 교육은 컴퓨터를 사용하는데 인터페이스에 친숙하도록 하는 컴퓨터 숙련도를 높이는 데는 도움이 되나 실제 컴퓨터 교육에서 기대하는 알고리즘학습과 같은 고유의 교육적 가치의 습득에는 효과를 기대할 수 없다. 또한 이러한 컴퓨터 교육은 학교교과과정과도 동떨어져 있어 학교 교육과의 연계도 어려운 것이 현실이다. 이에 본 고에서는 컴퓨터를 통한 알고리즘 학습과 학교교과과정과의 연계가 가능하도록 컴퓨터 교육 프로그램을 개발해 보고자 한다. 또한 창의력 교육은 영재교육과 관련하여 많은 관심을 불러일으키고 있다. 수학적 창의력은 수학적 문제 상황에서 고정된 사고방식을 탈피하여 다양한 산출물을 내는 능력으로 정의된다.(한국교육개발원, 김홍원 외,1996) 수학적 창의력은 다음과 같은 4가지 하위능력을 가진다.

1) * 본 연구는 2001년도 서울대학교 대학원연구센터(팀) 연구과제 지원에 의하여 연구되었습니다.

유창성(flucency)은 문제 상황에 유의미한 답으로서 여러 가지 반응 및 아이디어들을 낼 수 있는 능력을, 유연성(flexibility)은 서로 다른 범주의 반응 및 아이디어를 낼 수 있는 능력을, 독창성(originality)은 다른 사람과는 다른 참신하며 질적으로도 수준 높은 반응 및 아이디어를 낼 수 있는 능력, 마지막으로 정교성(accuracy)은 산출한 반응 및 아이디어를 보다 구체화하고 세밀하게 다듬을 수 있는 능력을 말한다. Tammage(1979)는 교실에서의 수학적 창의력 향상의 필요성을 주장하고, Krutetskii(1976)은 수학적 능력의 하나로 유연성을 제시하는데 이는 수학적 창의성의 하위능력이 되는 것으로 수학적 능력의 향상을 위해 수학적 창의력의 신장을 생각해볼 수 있게 한다. 또한 NCTM(1989)의 Standards에서도 21세기를 대비하여 학생들에게 다양한 문제해결 방법에 익숙해질 수 있도록 확산적이고 창의적인 아이디어를 위한 도전적 과제를 제공해야 하며 한가지 문제를 다양한 방법으로 풀도록 해야 한다고 강조하고 있다. 이는 수학적 창의력의 하위능력인 유연성(flexibility), 독창성(originality), 유창성(flucency)과 관련되므로 수학적 창의력을 강조하는 것이라 해석할 수 있다. 따라서 수학적 창의력을 길러주는 프로그램의 개발은 영재교육 뿐만이 아니라 수학교육 전반에 걸쳐 수학적 능력 향상을 위해 고려되어야 한다. 이에 창의력 향상을 위한 많은 연구와 자료들이 개발되고 있지만, 관심에 비해 체계적인 창의력 교육에 대한 구체적인 방법과 그 효과에 대한 검증도 없이 교육이 이루어지고 있는 것이 현실이다. 이에 여기서는 창의력을 수학적 창의력으로 구체화시켜 수학적 창의력 향상 프로그램을 개발해보고자 한다.

이와 같이 컴퓨터 교육과 창의력교육이 제대로 이루어지고 있지 않는데 대한 대안으로 본고에서는 학교교육과 연계된 컴퓨터 교육을 통해 수학적 창의력의 향상을 목적으로 하는 수학 프로그램을 설계하고자 한다. 우선, 컴퓨터를 통한 창의력 수학 프로그램을 개발하기 이전에 컴퓨터를 이용해 수학적 창의력을 향상시킬 수 있는 교육매체로 적합한 것이 무엇인지에 대해 살펴보고, 그 매체를 이용하여 교육 프로그램을 설계할 때 프로그램의 특징에 대해 알아보하고자 한다.

2. 컴퓨터 창의력 수학과 LOGO

컴퓨터 창의력 수학을 위한 학습프로그램을 설계하기 이전에 우선, 컴퓨터 창의력 수학을 위한 프로그램에서 사용되는 교육매체로 어떤 것이 적합한지에 대해 살펴보아야 한다. 컴퓨터 창의력 수학을 위한 프로그램을 설계하기 위해서는 컴퓨터의 측면과 창의력의 측면 및 수학의 측면을 모두 고려하여 가장 적합한 교육매체를 찾아야 하는데, LOGO의 경우 컴퓨터 프로그래밍 언어이면서 동시에 수학적 측면을 고려하여 개발된 언어이고 또한 마이크로월드라는 환경적 특징으로 창의성을 향상시키는데 효과가 있는 언어라는 많은 연구가 보고되고 있다. 따라서 본 고에서는 LOGO 마이크로월드가 컴퓨터 창의력 수학 교육 매체로 가장 적합하다는 결론을 얻었으며, 이에 대한 자세한 내용은 다음과 같다.

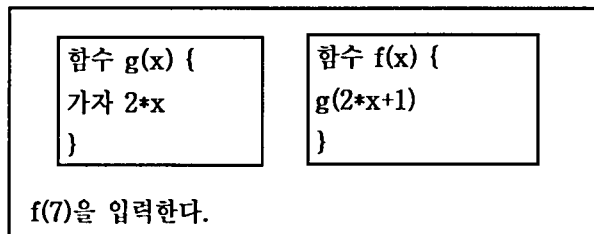
가) 마이크로월드의 특성을 가진 환경

마이크로월드란 아동이 직접 조작할 수 있는 실세계의 축소화된 모형이다. 마이크로월드에서 아동은 자유로운 창조활동을 할 수 있어서 생산적 사고를 유도하여 창의력이 신장될 수 있다. Papert는 거북세계(Turtle World)는 한 '장소'이며 '수학세계의 한 분야'이며 마이크로월드라고 하면서 LOGO가 수학적 마이크로월드임을 명시하였다. 아동은 LOGO라는 공간에서 특정한 목적을 가지고 자신의 행동을 추상화한 후, 그 세계에서 약속된 언어로 표현하여 거북과 대화하는 창조적인 행위를 한다. LOGO 공간에서 아동은 거북과의 대화를 통해 가설을 만들고 실제로 그것이 참인지를 간접 실험의 형태로 확인해 볼 수 있다. 여러 가지 도형을 만들어보고, 자신이 원하는 도형을 그리는 함수를 설계하는 등의 일련의 활동을 통해 아동은 실세계의 축소된 모형에서 수학을 하는 경험을 할 수 있다.

이와 같은 마이크로월드로서의 특징은 LOGO를 통해 창의력의 한 부분인 생산적이며, 독창적인 사고를 유도하는데 좋은 환경이 된다.

나) 수학적 언어

LOGO는 그 개발 초기 목적이 학습을 위한 프로그래밍 언어이며, 특히 수학학습을 염두에 두고 개발된 언어이다. 인터넷 LOGO에서 사용되는 변수나 함수의 개념 및 기하대상의 성질 등은 수학에서 사용되는 개념과 다르지 않다. 예를 들면 다음과 같은 명령어 열을 살펴보자.



위의 명령어 열을 입력하면 $f(x) = g(2x + 1)$ 이라는 사실을 알 수 있게 된다. 이처럼 합성함수는 물론 수학적인 다양한 표현이나 계산 등이 LOGO에서도 모두 가능하다. 또한 LOGO 언어를 사용할 경우 특별한 이점이 있다. 예를 들면, "가자"라는 명령어는 수학적 개념에서는 명백히 함수에 해당하지만, 아동은 그것을 "앞으로 가자"라는 일상적인 언어로 이해하므로, 실생활 속에서 자신의 활동 속에서 함수나 변수의 개념을 습득할 수 있게 된다. 이것은 Freudenthal의 실생활의 문제를 통한 수학적 개념과도 일치한다고 볼 수 있다. LOGO 언어를 실생활에서의 언어사용과 같이 자유롭게 사용하게 된다면 수학적 언어를 쉽게 익힐 수 있다는 점에서 본고에서는 수학학습에 적합한 언어로 LOGO를 사용하는 것을 제안하게 된다.

다) 컴퓨터 프로그래밍 언어

LOGO는 기본적으로 컴퓨터 프로그래밍 언어이다. 그뿐 아니라 LOGO는 여러 가지 특징을 가지고 있기에 컴퓨터는 물론 수학 및 창의력을 학습하기 위한 좋은 환경이 될 수 있다. 다음은 컴퓨터

프로그래밍 언어로서 LOGO가 가지는 특징에 부가적으로 수학 학습에서의 이점 또한 고려할 수 있다는 내용에 대한 설명이다.

특별히 본 고에서 다루는 컴퓨터 프로그래밍 언어인 LOGO에서는 행동의 의식화라는 부분에 주목해야 한다. LOGO 언어는 신체 동조적 특징을 가진 언어이다. 아동은 마치 거북이의 등에 타고서 거북이와 함께 여행을 떠나는 것처럼 행동한다. 즉, 자신과 거북이의 여행을 미리 머리 속에 그려본 후, 그것을 의식화하여 형식적·기호적 수단인 명령어를 사용하여 표현한다. 이러한 일련의 과정을 행동의 의식화라고 한다. 이러한 의식화는 유사-수학적 활동으로 분류할 수 있는데, 그것은 수학이 실세계의 모습을 수학화해 나가는 과정을 통해 이루어지는 것이라고 볼 때, 형식에서의 유사성에 그 첫 번째 이유를 들 수 있고, LOGO에서 의식화되어 나타나지만 결과(명령어열)가 수학적 언어의 형태²⁾를 띠는 것이 그 두 번째 이유가 된다.

또한 LOGO 언어는 아동이 계획한 일련의 프로그래밍에서 발견되는 오류에 대한 적당한 feedback을 제공함으로써 반영적 추상화의 기회를 제공한다. 자신의 활동에 대한 반사³⁾와 즉각적인 반성⁴⁾을 통해 정답을 향해가는 측면은 반영적 추상화와 똑같은 과정이라고 볼 수 있다.

마지막으로 LOGO에서 필요에 의해 추상적인 언어를 만들어 가는 과정은 수학적 추상화의 과정과 일치하므로 프로그래밍의 지도는 수학 학습에 도움을 준다고 볼 수 있다.

이상과 같이 LOGO는 컴퓨터는 물론 수학학습이 가능한 언어이다.

라) 문제 해결력을 길러주는 언어

LOGO는 문제 해결력을 길러주는 언어라는 특징을 가지고 있다. 여러 연구에서 이미 LOGO가 문제 해결력을 향상시켜주는 언어라는 보고가 있었고,(Kapa, E. 1999; Subni, T. 1999; Kramarski, B. and Mevarech, Z R. 1997) 문제 해결력은 창의력 및 사고력의 기본이 되는 능력이라 할 수 있다. 따라서 LOGO는 컴퓨터 창의력 수학학습을 위한 교육매체로 적합하다 할 수 있다.

Polya의 문제 해결의 네 단계 즉, 문제의 이해, 계획의 수립, 계획의 실행, 반성의 과정을 각각 LOGO 프로그래밍과 연결 지으면 문제 해결에 관한 몇 가지 아이디어를 찾을 수 있게 된다.

우선, “문제의 이해”에 해당하는 부분은 LOGO 활동에서 주어진 과제를 다루기 쉬운 부분들로 분해하는 전략을 사용하는 것을 뜻한다. 문제를 분해하는 전략은 계획세우기 전략에서 자세히 다루게 될 내용인 top-down 전략과 bottom-up 전략 중 bottom-up 전략과 유사하다. 즉, 세부 내용으로 나누어서 각 부분에 대해서 각각 이해를 한 후, 전체적인 내용을 이해하는 것이다.

다음은 “계획의 수립”단계이다. 이 단계는 LOGO 활동에서 계획을 세우고, 프로그래밍을 구상하는 단계까지이다. 일반적으로 프로그래밍을 할 때, 계획을 세우는 방법에는 top-down 방식과 bottom-up 방식 두 가지가 있다. top-down 방식은 전체적인 틀을 먼저 잡고, 구체적인 내용을 채워

2) 함수사용이 대표적인 예이다.

3) 오류 확인의 과정으로 컴퓨터의 error 메시지나 화면에 나타난 원치 않은 결과가 반사에 해당한다.

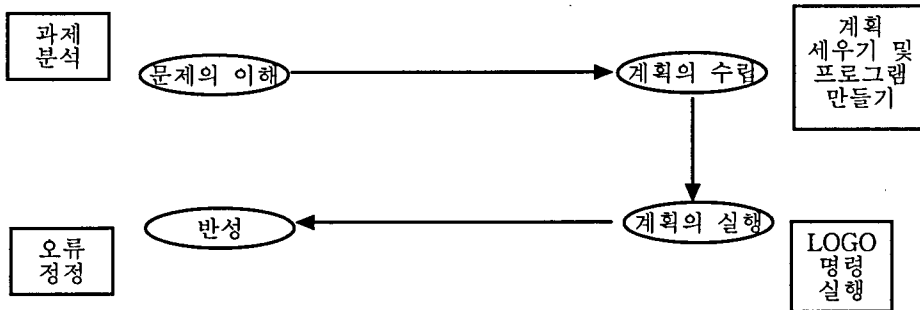
4) 오류 수정을 의미한다.

나가는 방식이고, 반대로 bottom-up 방식은 세부적인 내용을 먼저 한 후에, 전체적인 틀을 잡는 것이다. LOGO 활동을 통해 아동은 다양한 방식의 계획 세우기 전략을 훈련할 수 있게 된다.

계획의 실행 단계는 특별한 전략의 사용이 두드러지지 않는다.

마지막 “반성”의 단계를 주목해야 하는데, LOGO 활동에서는 특별히 오류정정(debugging)이 반성의 단계에 해당된다. 오류정정 활동을 통해 아동은 자신의 수행을 분해하고, 오류를 발견하고, 수정하는 일련의 반성의 전략을 사용한다. LOGO에서는 오류정정의 경우, 화면에 나타나는 즉각적인 feed back과 text형의 오류정정 메시지가 “반성”의 촉진자 역할을 한다는 사실이 주목할 만하다.

이상의 단계를 간단한 도표로 나타내면 다음과 같다.



이외에도 LOGO 활동을 통해 고려할 수 있는 문제 해결의 아이디어로는 오류에 대한 긍정적인 태도를 형성할 수 있다는 것과 또래 집단 활동(계사판 활동 포함) 등을 포함하여 상호작용을 통한 활동이 있다.

마) 수학적 창의력과 LOGO

마이크로월드로서의 LOGO의 특징은 창의력의 한 부분인 생산적이며 독창적인 사고를 유도하는데 도움을 주지만 마이크로월드로서의 LOGO의 특징만으로는 LOGO가 창의력을 기르는데 도움을 주는 언어라는 사실을 충분히 알아내기는 힘들다. 따라서 LOGO가 수학적 창의력을 길러주는 언어라는 별도의 논의가 필요하다. 여기서는 수학적 창의력과 LOGO에 대해 간략하게 알아보도록 하겠다. LOGO는 아동에게 수학적 내용을 다양한 표현 양식을 이용하여 나타내도록 한다. 즉 LOGO 마이크로월드 내에서의 아동의 사고과정을 살펴보면 원하는 거북이의 움직임 즉 활동적 표현에서 출발하여 이를 그림으로 나타냄으로써 시각적 표현이 가능하고, 거북이의 움직임을 기술하는 과정에서 상징적으로 표현하게 된다. 하나의 수학적 내용에 대한 다양한 표현을 통해 사고의 유연성(flexibility)과 문제해결력을 향상시키므로 LOGO 마이크로월드는 수학적 창의력 신장에 좋은 내용전달의 매개체라고 할 수 있다. 또한 아동은 LOGO 마이크로월드를 통해 화면상에 나타나는 그림을 통해 피드백을 받고 실수를 찾아내고 결과에 대해 숙고하는 과정을 반복하는 시행착오를 거쳐 스스로 학습을 완성해나간다. 이러한 과정에서 LOGO는 아동에게 서로 다른 방법으로 문제를 정의하고, 문제의 다양한 표현들을 선택하고, 자신만의 해답을 계획하고 해를 구하는 과정을 관찰하고 그 결과를 평가하게 해준다.

(Clements, 1991) 이에 Clements(1991)는 LOGO 환경에서 아동은 창의력에 적절한 메타요소(metacomponents), 지식획득요소(knowledge acquisition components), 실행요소(performance components)들을 이용하여 학습을 하게 된다고 역설하였다. 또, Subni, T.는 수학 영재아들에게 LOGO를 지도하였을 때, 창의력 등을 길러줄 수 있다는 보고를 하였다. 또한 앞에서 언급한 수학적 창의력의 4가지 하위능력과 관련하여 LOGO는 기존의 교육과정에서 제공하지 못하는 창의력 배양의 좋은 기회를 제공함으로써 학교 교육의 부족함을 채워줄 수 있다.

이에 본고에서는 컴퓨터를 이용한 수학적 창의력 신장을 위한 교육프로그램에서 적합한 교육 매체로 LOGO 마이크로월드를 이용하고자 한다. 이는 LOGO 마이크로월드가 프로그래밍을 하는 학생들과 수학적 지식을 획득하는 학생들 사이에 접점이 되어 두 영역의 내용을 공유할 수 있는 기회를 제공하기 때문이며, LOGO에서의 다양한 표현을 통해 기존의 교육방식을 탈피하여 새로운 관점에서 수학 교과과정에 접근할 수 있기 때문이다. 하지만 기존의 LOGO의 경우, 변수나 함수 개념의 지도에 있어 비수학적인 명령어가 사용되며, 명령어가 영어로 주어져서 초등학생들의 교수-학습에 적용하기가 힘들다는 한계로 인해 컴퓨터를 통한 창의력 프로그램을 개발하고자 하는 의도에 부합되지 않는바 본 고에서는 비수학적인 명령어의 결합을 수정⁵⁾하고, 한글명령어를 사용하는 인터넷 LOGO를 교수-학습의 도구로 도입하였다. 인터넷 LOGO의 경우, Authoring tool로 사용이 가능하다는 점에서 마이크로월드의 특성을 더욱 잘 반영하며, 동료간의 협동학습이 가능하며, 원격학습이 가능하다는 장점도 가지고 있다.

3. LOGO 마이크로월드를 이용한 창의력 수학 프로그램 설계의 원칙

LOGO 마이크로월드를 교육매체로 이용해 창의력 수학 프로그램을 설계할 때 프로그램이 가져야 할 기본 원칙들은 다음과 같다.

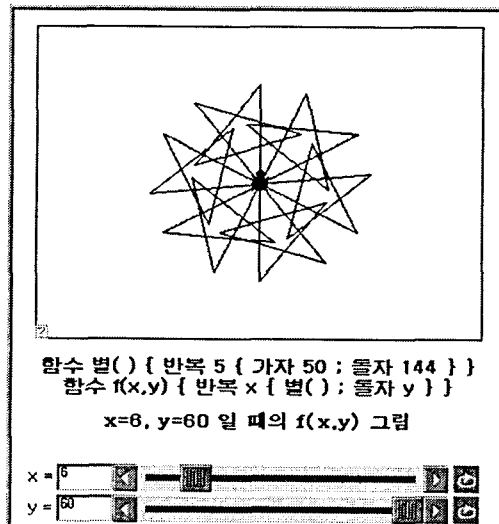
가) 학교 교육과정과 연계한 프로그램이어야 한다.

기존의 수학적 창의력을 위한 교육 프로그램의 내용들은 퍼즐, 게임과 같은 서로 연결되지 않는 내용들이 나열되어 있는 형태를 취한다. 즉 창의력 개발을 위한 교육과정이 서로 유기적으로 연결된 것이 아니라 에피소드 식으로 나열된 형태를 취하고 있으며, 과연 어떻게 수학적 창의력이 신장되는지 검증하는데 어려움이 따른다. 즉 수학 퍼즐이나 게임과 같은 조작이 곧바로 수학적 창의력 신장을 의미하는 것은 아니라는 것이다. NOSS(1985)는 창의력 신장을 위한 많은 교육적 장점을 지닌 LOGO학습이 아동의 수학적 성취를 향상을 의미하는 것은 아니라고 지적하면서, 수학적 개념으로의 전이는 자동적으로 일어나는 것이 아니라 수학적 아이디어들과 프로그래밍 사이가 정확하게 연결되

5) 변수 사용에서 :X와 같은 명령대신 X를 사용하였고, 함수사용에서 TO-END대신 함수()를 사용하였다.

어질 때 비로소 발견된다고 말한다. 이에 LOGO의 경우에서도 로고 활동과 교과과정내의 수학적 주제들 사이에 명확한 연결을 발생시키는데 많은 관심을 기울여야 한다. 따라서 수학적 창의력 향상을 위한 프로그램은 수학적 개념으로 전이가 일어날 수 있도록 교육 내용이 학교 교육과정내의 수학과 연계, 구체적인 수학 학습 내용의 바탕 위에 체계적인 창의력 신장을 위한 프로그램으로 구성되어야 한다. LOGO 마이크로월드에는 원래 수학을 위한 언어로 발생되었기 때문에 많은 수학 내용을 담을 수 있는 환경이다. 실제로 초등학교 3,4학년에 심화과정에서 다루도록 교과과정에 들어가 있고 이를 에듀넷의 '거북명령실습실'에서 제공하고 있다. 또한 Abelson, H. and DiSessa, A.는 Turtle Geometry 라는 책을 통해 LOGO를 이용해 대학수준의 수학학습까지도 가능하다는 사실을 명시하고 있다. 따라서 LOGO는 학교수학의 내용과 연계되어 창의력 신장을 위한 학습프로그램의 교육매체도 적합하다. 또한 교과 과정과 연계된 프로그램의 개발은 영재 교육에 있어 두 가지 학습 형태인 속진과 심화 모두에 이용할 수 있다는 장점을 가진다. 영재교육 뿐만이 아니라 학년 구분 없이 그 학습 진도에 따라 적절히 속진과 심화가 가능하므로 정규교육과정, 방과후 교실, 자기 주도 학습에서 모두 사용 가능하다.

다음의 예는 LOGO에서 함수에 대한 Drill & Practice의 예이다. LOGO를 통한 함수의 학습은 학교 수학의 내용과 연계가 되어, 보다 쉽게 접근할 수 있다는 점에서 이후 학습에 대한 심화 및 속진이 가능하게 해주는 예이다. 특히 그림의 $f(x,y)$ 함수의 경우, 변수가 2개이고 두 변수에 따라 달라지는 내용을 눈으로 확인함으로써 역동적인 변화로서의 함수의 개념에 대한 이해를 도울 수 있다.



나) 학습 형태에 있어서는 자기 주도 학습과 협동학습을 적절히 혼합하고, 교사는 촉진자로서의 역할을 담당하도록 한다.

아동은 LOGO 활동에서 문제파악을 시작으로 거북이와의 대화를 통해 문제해결과 관련된 아이디어를 발견하고, 문제해결의 전략을 세우는 일련의 과정을 통해 학습을 완성해 나가는 자기 주도 학습이 가능하다. 여러 연구를 통해 LOGO 마이크로월드는 특별히 학생들이 협동적으로 작업할 수 있도록 하는데 적절하다고 확인되었다.(Clements, 1986, 1991; Mevarech & Kramarski, 1990) 이에 LOGO 마이크로월드를 이용해 학습 프로그램을 설계할 경우, 프로젝트 형태의 과제라든지 on line 게시판을 통해 과제에 대한 아동끼리의 상호 평가가 가능하도록 하는 등 협동학습도 이루어질 수 있다. 이러한 협동 학습은 비고츠키가 강조하는 근접발달 영역의 확대를 통한 교육적 효과를 기대할 수 있게 한다. 마지막으로 교사는 학습의 안내자, 촉진자 역할을 담당하여 자기주도 학습과 협동학습을 원활하게 이루어지도록 도와주게 된다.

다) 학습과 평가를 위해 수준과 단계가 고려된 교육과정이 개발되어야 한다.

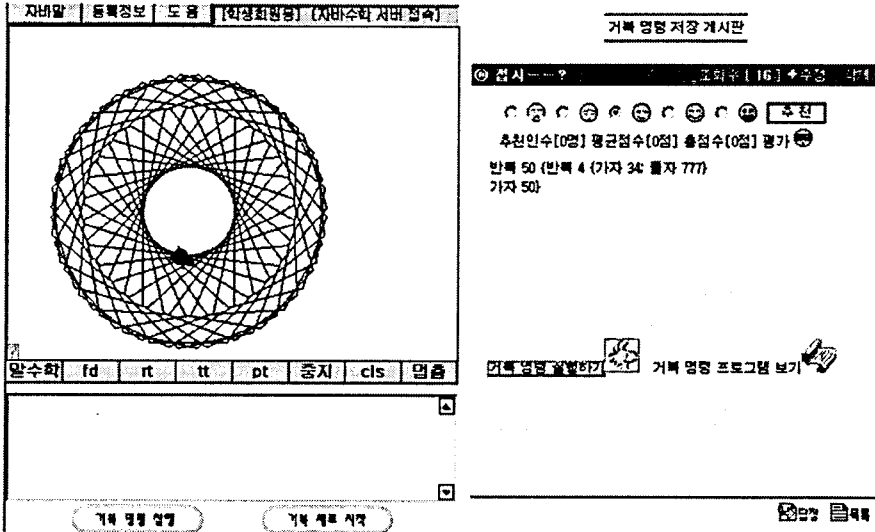
학교교육과정에서의 학년구분에 따른 수준과 단계가 아니라 LOGO를 통한 수학학습의 수준과 단계를 말하는 것이다. 이미 기존의 반월의 수준이론에 따라 LOGO 프로그래밍 활동의 수준을 5단계로 나누는 연구가 있었다. (Olson, A.T., Kieran, T.E., Ludwig, S., 1987) 이를 기반으로 창의력 수학 프로그램의 교과과정도 수준과 단계에 따라 구성되어야 한다. 이를 위해 LOGO 수학학습의 수준과 단계를 교과과정과 연계하여 나누어야 한다. 수준과 단계가 나누어질 경우, 평가의 용이성과 함께 앞서 제시한 속진 및 심화교육도 보다 체계적으로 할 수 있다.

라) 사고의 독창성(originality)을 유도하는 프로그램이어야 한다.

사고의 독창성(originality)은 개개인에 맞는 특별한 교육 환경을 제공하는 것에서부터 시작된다고 할 수 있다. 즉, 교실 환경에서 각각의 아동들에게 적절하고 의미있는 문제해결 경험을 제공하는 것은 어려운 과제일 것이며, 그러한 환경에서 독창적 아이디어의 발상은 어려울 것이다. 사고의 독창성(originality)은 문제 수준이나 학생의 능력, 관심, 동기화의 차이들은 새로운 교육 환경을 요구한다. Papert의 '서로 다른 사람에게 서로 다른 것을'로 LOGO의 다양성의 언급을 기반으로 살펴보면, 로고는 학습자에게 특별한 교육환경을 제공하며, 교육철학으로서 발견학습을 그 뿌리로 한다고 할 수 있다.(Maddux, M.L., Johnson, D.L. 1988) 이러한 LOGO의 다양성과 교육철학인 발견학습은 수학적 창의력의 하위능력의 하나인 독창성(originality) 향상의 기본이 된다.

독창성을 새로운 내용을 만들어낸다는 측면 즉, 생산적 사고의 측면에서 이해한다면 LOGO 마이크로월드에서 다음의 내용은 사고의 독창성(originality)과 관련된 내용이라고 볼 수 있다. 학생들은 자신이 창조한 산출물을 게시판 upload하고 친구들과 상호평가를 할 수 있다. 아래 그림의 왼쪽은 학생이 만들어낸 산출물이고, 오른쪽의 "거북 명령 프로그램 보기"버튼을 누르면 친구들이 사용한 명령어를 볼 수 있고, 명령어 수정 및 보완작업을 할 수 있다. 또한 오른쪽 화면의 윗부분에 있는 "동글이"단추를 이용하면 친구들끼리 점수주기를 할 수 있다. 이런 게시판 환경은 창조적인 활동을 유

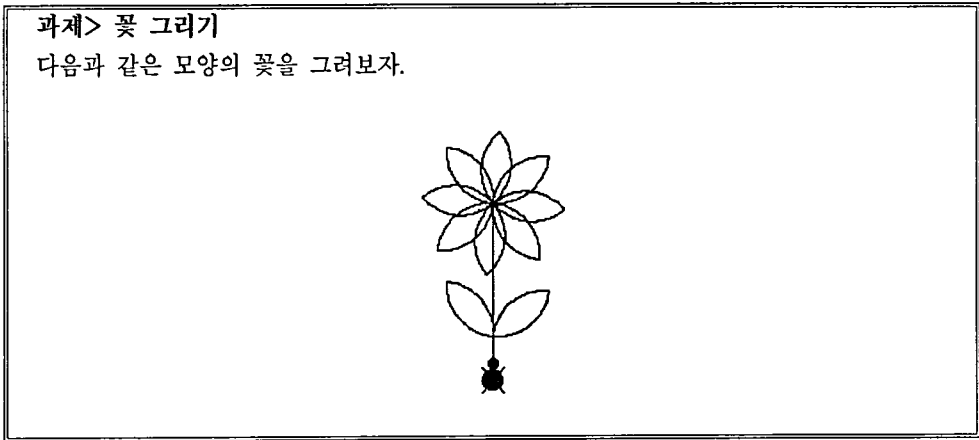
도할 수 있으므로 독창적 사고에 도움을 줄 수 있는 환경이다.



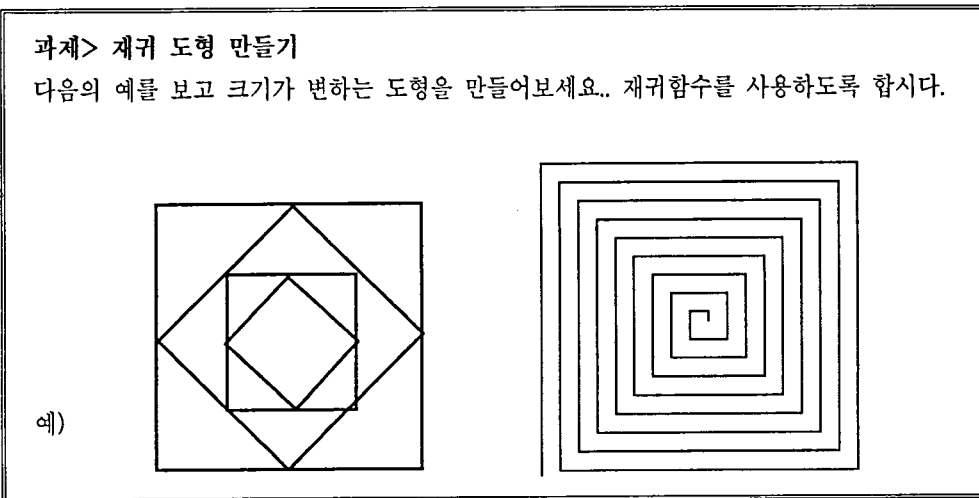
마) 사고의 유연성(flexibility)을 유도하는 프로그램이다.

LOGO 마이크로월드는 학생들에게 주어진 문제로부터 접근 방법, 공격방법, 해결방법, 결론을 도출해내는 방법에 많은 유연성(flexibility)을 준다. 유연성이란 서로 다른 범주의 반응 및 아이디어를 낼 수 있는 능력을 뜻한다. 문제해결에 있어 수학적 창의력이 강하게 작용하면 발산적 사고가 일어나는데,(박명전, 2000) 이러한 발산적 사고는 한 아이디어를 알고 있을 때, 그것을 응용하여 다른 아이디어나 문제 해결에 사용할 수 있다는 측면에서 사고의 유연성(flexibility)과 관계된다고 할 수 있다. 특별히 LOGO 마이크로월드를 통한 수학적 접근은 아동으로 하여금 발산적 사고(사고의 유연성)를 하도록 만든다. Papert는 LOGO 프로그래밍을 통해 아동은 자신의 직관을 프로그램으로 나타내는 경험을 통해 외연화 시키도록 요구받으며, 적절한 안내를 통해 아동은 더 높은 수준의 개념을 형성하게 된다고 말한다.(1980) 예를 들면 직사각형 절차나 프로그램을 설계함으로써 아동은 직사각형에 대한 직관적인 아이디어들을 구체적으로 형성하게 되고, 프로그램의 실행을 통해 아동 자신의 정의를 시험하고, 그들이 가진 개념화에 대해 반성하게 된다. 이러한 경험을 반복하면서 아동은 더 높은 기하학적 수준으로 다가설 수 있으며 유사한 다른 상황에서도(일반적인 다각형) 유용한 개념구조를 형성하게 된다. 이러한 과정은 기하학습에서 LOGO를 통해 발산적 사고를 하는 전형적인 예라고 할 수 있다.

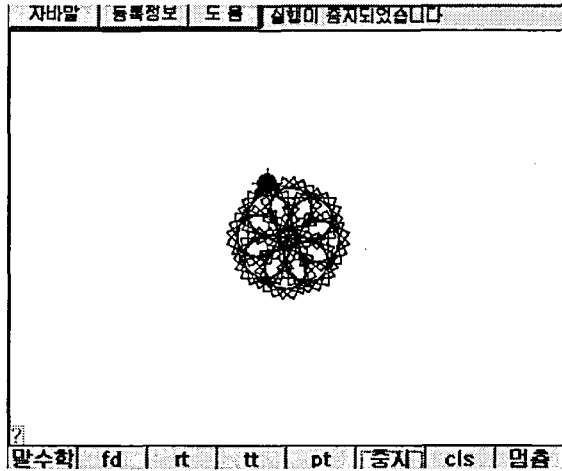
다음의 예는 사고의 유연성을 고려한 LOGO 과제의 예이다. “꽃그리기” 과제는 “원그리기”를 학습한 후에 자신이 배운 내용을 확장시키고 일반화된 방법으로 다른 과제에 적용시키는 것을 연습할 수 있는 좋은 예가 된다. “원그리기”를 학습한 후에, 원의 일부분을 이용해서 “꽃그리기” 과제를 수행한 학생에게는 그밖에도 반원을 이용한 “기러기그리기”등을 과제로 제시할 수 있다.



다음의 예는 프랙탈이나 재귀함수를 사용하는 과제를 통해 발산적 사고를 유도하는 내용의 예이다.



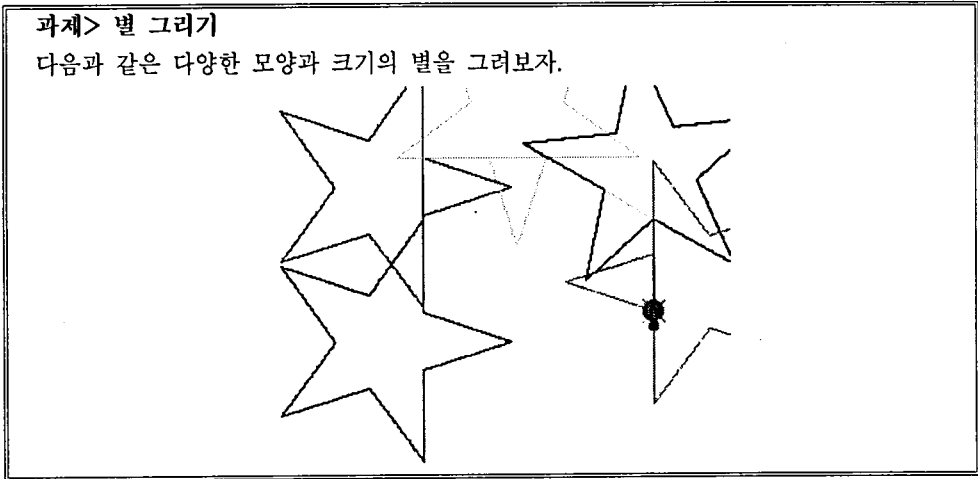
위의 각 내용에 대해 학생들은 다양한 답안을 제시할 수 있다. 다음은 서울대학교 영재센터 학생이 재귀도형 만들기 과제에 답안으로 제시한 내용이다.



바) 사고의 유창성(fluency)을 유도하는 프로그램이다.

LOGO를 통해 컴퓨터 창의력 수학 학습의 프로그램을 설계하면, 아동이 사고의 유창성(fluency)을 발달시킬 수 있는 형태로 프로그램이 만들어질 것이다. 사고의 유창성(fluency)이란 특정한 문제를 해결할 때, 다양한 방법으로 문제에 접근할 수 있다는 사실을 인지하고 실제로 문제를 다양한 방법으로 해결할 수 있는 일련의 능력들을 포함하는 용어이다. LOGO의 경우, 특정한 문제에 대해 원시명령으로 접근할 수도 있고, 보다 복잡한 함수문을 사용할 수도 있으며, 다양한 프로그래밍의 기교를 이용하여 다양한 문제 해결 방법을 적용할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 따라서 학생이 LOGO를 통한 문제 해결의 경험을 갖는 경우, 창의적 사고의 한 부분인 사고의 유창성(fluency)이 길러지게 된다.

문제 해결의 다양한 방법에 대해 고려할 수 있다는 것이 사고의 유창성을 설명하는 표현이라면, 다음과 같은 “별그리기” 과제에 대해 다양한 답안을 내도록 유도하는 내용으로 설계될 수 있다. “별그리기”과제의 경우 외각의 크기를 고려해야 하는데, 외각을 결정할 때 학생들의 다양한 문제해결방법을 고려한다는 측면에서 유창성이 고려된 문항이라고 할 수 있다.



사) 사고를 정교화하는 내용의 프로그램이다.

정교성(accuracy)은 수학적 창의력의 하위 능력의 하나이다. 즉 자신의 아이디어를 보다 구체화하고 세심하게 다듬어 나갈 수 있는 능력을 기르기에 적합한 교육 환경이 바로 LOGO 마이크로월드이다. 아동은 실험 삼아 다양한 대상을 조작하고 자신이 행한 조작의 결과에 의해 즉각적으로 피드백을 받는 학습환경 속에서 몇 가지 단순한 기본 명령어로 출발하여 보다 정교한 대상을 구성하고, 복잡한 도구들을 정의할 수 있다. LOGO 마이크로월드 내에서의 아동의 학습 과정은 프로그램 오류 수정을 통한 사고의 정교화 과정이라고 할 수 있다.

다음의 문항은 사고의 정교화에 관한 문항이다. 학생은 오류 수정의 과정을 통해 사고를 정교화하고 발달시켜나갈 수 있다.

문제>
 다음은 M을 그리기 위한 함수이다. 잘못된 부분이 있으면 바르게 고치세요.

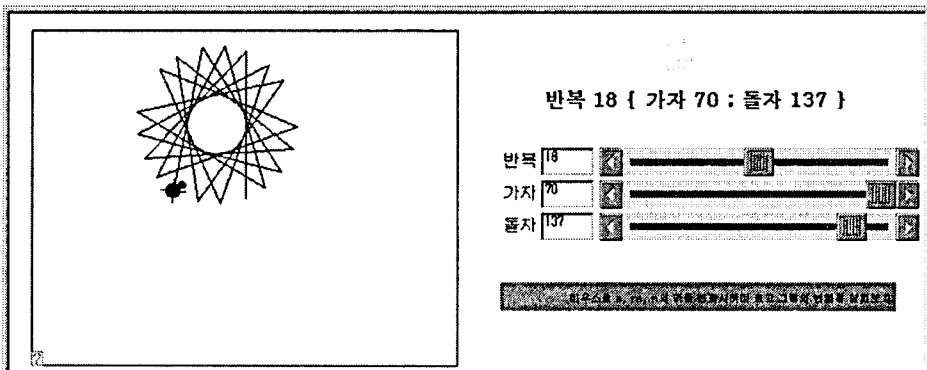
```

함수 M {
  가자 30
  돌아 -45
  가자 15
  돌아 90
  가자 15
  돌아 -135
  가자 30
  돌아 90
}
    
```

자) 문제 이해력과 표현력을 길러 줄 수 있는 내용이어야 한다.

수학적 창의력 향상을 위해서는 자신의 아이디어를 수학적으로 표현하고, 문제를 이해하는 능력이 기본적으로 필요하다. 자신이 직접 문제를 읽고, 해석하도록 유도하는 내용이어야 한다. 또한 자신의 사고과정을 논리적으로 기술하는 기회를 제공하여야 한다. 여기서 다양한 표현 방법을 사용할 수 있다는 것을 인지시켜주어야 하며, 다양한 표현을 통해서 위에서 제시한 사고의 유창성 (fluency)을 기르는 데에도 도움을 줄 수 있다. 수학은 기본적으로 약속된 언어라고 할 수 있다. 즉 수학을 잘한다는 것은 수학적 언어를 이해하고, 자신의 생각을 수학적으로 잘 표현한다는 것을 의미한다. 그런데 수학적 언어는 일상언어와는 달리 형식화되어 있어 수학적 언어 구사는 어려움이 따른다. 이에 수학적 언어를 마치 모국어를 배우듯 자연스럽게 도입할 필요가 있다.

문제를 다양한 방법으로 표현할 수 있다는 사실은 LOGO 활동에서 다음과 같은 연습을 통해 길러질 수 있다. 다음의 그림은 명령어 "반복 a (가자 b ; 돌자 c)"에서 a, b, c가 변할 때, 화면상에 즉각적으로 변화된 결과를 보여줌으로써 "거북 전여정의 정리"는 물론 문제를 표현하는 다양한 방법과 이해의 방법에 대해 익힐 수 있는 환경을 나타낸다.



4. 결론

지금까지 컴퓨터를 통한 창의력 수학학습 프로그램의 개발을 목적으로 컴퓨터를 통한 창의력 학습 프로그램에서 사용될 수 있는 교육매체로서 LOGO 마이크로월드에 대해 살펴보았고, LOGO 마이크로월드를 통한 학습프로그램을 설계하였을 때의 특징에 대해서도 살펴보았다. 인터넷 LOGO 환경은 스스로 조작 및 창조활동이 가능한 마이크로월드 환경이며, LOGO가 가지는 언어적·수학적 특징들 때문에 창의력 수학학습 및 컴퓨터 학습에 가장 적절한 교육매체가 될 수 있다. 본고에서는 컴퓨터를 통한 창의력 수학학습 프로그램에서 LOGO를 그 매체로 사용할 것을 제안하면서 LOGO의 수학학습용 환경으로서의 특성을 활용해 보고자 한다. 그러나 지금까지 LOGO와 관련된 교수-학습용

자료들은 프로그래밍 언어지도라는 측면에 편중되어 있어서 수학학습을 위해 사용될 수 있다는 점이 간과되어왔다. 따라서 교수-학습에 사용하기 이전에 반드시 이루어져야 할 일이 교재구성이다. 교재구성시 주의해야할 사항은 다음과 같다. 우선, 컴퓨터 창의력 수학 프로그램을 위한 독립적인 교재를 개발하여야 한다. 기존의 교재처럼 수학학습과는 동떨어진 프로그래밍의 학습이 아니라, 수학학습을 목적으로 하는 프로그래밍 학습이라는 대전제를 바탕으로 교재가 구성되어야 할 것이다. 또한 교수-학습의 운영방법이 결정되어야 한다. 학생의 자기조절 능력을 고려하고, 자기주도적 학습도 가능하도록 하기 위해서는 on-line과 off-line이 적절히 결합된 형태로 운영되어야 한다. 이를테면 교사의 강의실 수업에서 아동은 rough note를 활용하여 자신의 사고과정을 기술한 후, 교실 외 환경에서 자신의 수행과제를 완성하여 게시판에 동료들간의 평가를 게시판을 통해 할 수 있다.

그밖에 고려되어야 할 사항은 다음과 upload하고 같다.

- 평가를 위한 성취수준에 대한 논의가 사전에 이루어져야 한다.
- 실험 연구를 통해 검증되어야 한다.

참 고 문 헌

- 김홍원·김명숙·송상헌 (1996). 수학 영재 판별 도구 개발 연구(I)-기초연구편-, 한국 교육개발원 연구보고 CR 96-26. 한국 교육 개발원.
- 박명전 (2000). 수학 영재의 창의적 문제 해결력 신장을 위한 학습 자료 개발, 한국교원대학교대학원.
- Abelson, H. & DiSessa, A. (1980). *Turtle Geometry*, MIT Press, Cambridge, Messachusetts.
- Clements, D.H. (1991). Enhancement of creativity in computer environments. *American Educational Research Journal* 28, pp.173-188.
- Kapa, E. (1999). 'Problem solving, planning ability and sharing processes with LOGO', *Journal of Computer Assisted Learning* 15, pp.73-84
- Kramarski, B. & Mevarech, ZR. (1997). 'Cognitive-metacognitive training within a problem-solving based Logo environment', *British Journal of rducational psychology* 67(4).
- Krutetskii, V.A (1976). *The Psychology of Mathematical Abilities in School Children*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Lowenthal, F.; Marcourt, C. & Solimando, C. (1998). 'Cognitive strategies observed during problem solving with LOGO', *Journal of Computer Assisted Learning* 14, pp.130-139
- Maddux, M.L, & Johnson, D.L. (1988) *LOGO: Method and Curriculum for teachers*, New York :The Haworth Press.
- NCTM (1989). Curriculum and Evaluation Standards for School Mathematics. Reston, Virginia :

NCTM

- Noss, R. (1985). *Creating a Mathematical Environment through Programming: A Study of Young Children Learning Logo*, Institute of Education, University of London
- Olson, A.T.; Kieren, T.E. & Ludwig, S. (1987). 'Linking LOGO, levels and language in mathematics', *Educational studies in mathematics* 18.
- Papert, S. (1980). *Mindstorm : Children, Computers and Powerful Idea*. New York: Basic Books.
- Subni, T. (1999). 'The impact of LOGO on gifted children's achievement and creativity', *Journal of Computer Assisted Learning* 15, pp.98-108