교육과학연구, 제14권 제1호, pp. 167-184 (2012. 05)

# 계산 원리 학습도구의 기능요소 고찰

김 형 철* · 김 철 민**

지식정보 사회에서 우리는 인간 생활과 자연 현상 속에서 다양한 형태의 수많은 문제들에 당면하며 살아가고 있다. 그러기에 주어진 문제들을 어떤 관점에서 탐색·접근해 얼마나 효율적인 방법으로 해결하는 지가 개인과 국가의 경쟁력과 수준을 결정하는 주요 요소 중 하나임에 틀림없다. 이와 관련해 본 논문은 컴퓨터과학이 가지고 있는 훌륭한 도구에 주목하길 요청하고 있다. 컴퓨터과학은 문제와 관련된 상황 혹은 현상을 '정보처리 과정' 혹은 '계산'이라는 관점에서 관찰해 추상 모델을 설정하고, 해당 모델을 구성하는 요소(추상체)들을 컴퓨터로 자동화함으로써 문제를 해결한다. 컴퓨터과학은 궁극적으로 자동화된 문제해결 시스템을 목표하기 때문에 추상화 과정 자체를 정확하고 치밀하게 유지하는데, 이때 추상화와 자동화를 한 흐름으로 연결시켜 주는 것은 바로 컴퓨터과학의 핵심 원리인 '계산'이다. 문제는 계산 원리가 컴퓨터과학의 본질적 요소로서 문제해결에 있어 매우 중요한 역할을 하는데, 초중등 교육뿐만 아니라 대학 전공 교육에서조차도 계산 원리 학습이 제대로 이루어지고 있지 않다는 것이며, 계산 원리 학습을 효과적으로 지원해 주는 도구도 거의 없다는 것이다. 본 논문은 먼저 계산 원리와 관련된 다양한 측면을 개괄적으로 정리·제시함으로써 계산 원리 학습의 중요성과 필요성을 강조하고 있다. 또한 계산 원리 학습도구가 갖추어야 할 기능 요소들을 분석적으로 고찰·도출해 향후 관련 도구 개발 시 검토하고 참고할 기준 지침으로 제시하고 있다.

* **주제어:** 계산, 계산모델, 컴퓨터 교육, 계산 원리 학습도구

## I. 서 론

인간은 일상 속이나 각자의 전문 분야에서 다양한 수준의 수많은 문제들을 직면하며 살아간다. 그러기에 해결해야 할 문제들을 어떻게 발견해내고, 당면한 문제를 어떤 관점에서 탐색·접근해 얼마나 효율적인 방법으로 해결하는 지는 개인의 수준과 경쟁력을 결정하는 매우 중요한 요소가 된다. 실세계의 문제들 가운데 그리 어렵지 않게 해답을 찾을 수 있는 문제들도 많지만, 차선의 해결책을 찾는 것조차 어려운 복잡한 문제들도 적지 않다. 때때로 우리는 전자의 문제가 주어졌는데 그 해답

* 제주대학교 컴퓨터교육과 박사과정(email: k2youngc@naver.com)
** 제주대학교 컴퓨터교육과 교수(교신저자, email: cmkim@jejunu.ac.kr)
◎ 접수일(2012년 5월 7일), 수정일(2012년 5월 16일), 게재확정일(2012년 5월 21일)

을 찾지 못해 많은 비용을 치르기도 하고, 후자의 문제에 부딪혔는데 그것을 붙들고 시간과 자원을 허비하기도 한다. 유념해야 할 것은 누구라도 문제 해결과 관련된 기초 지식이나 역량이 부족하면 언제라도 이런 상황에 놓일 수 있다는 것이다. 따라서 우리는 실세계의 문제들, 특히 대규모의 복잡한 문제들을 효과적으로 다루는데 필요한 개개인의 역량을 어떻게 향상시킬 것인지, 그 방법을 면밀히 탐색해야 한다.

본 논문은 이와 관련해 문제해결을 위한 컴퓨팅 패러다임을 탐색했고 컴퓨팅의 기본 원리로서 '계산 원리'가 지닌 교육적 가치에 주목했다. 컴퓨터과학은 현상을 관찰할 때 관련 매개체들의 상태 변환과정(컴퓨터과학에서는 이를 정보처리 과정으로 간주함)에 주목한다. 그리고 그 속에서 문제를 발견하고 그 해결책으로서 관련 매개체들에게 있어야 할 상태 변환과정(상태들의 순차: sequence of states)을 구상·정의한다. 문제해결책을 계산(상태들의 순차)으로 정형화하고 컴퓨터가 그 계산을 수행하게 만드는 방식으로 해당 문제를 해결하는 것이다. 이 과정에서 추상화(abstraction)와 자동화(automation)가 핵심도구로 활용된다. 추상화는 현상과 관련된 매개체들 속에 내재되어 있는 문제해결과 무관한 요소들을 제거함으로써 단순화된 '추상체'들을 설정한다. 물론 그들 간의 상호작용 과정에서 문제해결에 필요한 계산이 생성되도록 각 추상체의 상태와 행동양식이 설정되어야 한다. 그리고 추상체들의 상태와 행동양식을 알고리즘(컴퓨터가 수행할 수 있는 작업의 절차)으로 정의·구현해 해당 계산을 '컴퓨터'가 수행할 수 있게 만듦으로써 문제해결을 자동화시킨다. 이와 같이 문제해결 과정을 계산으로 정형화해 관련 알고리즘을 정의하는 것이 컴퓨터과학의 본질적 활동이다.

컴퓨터과학의 문제해결 핵심 도구인 추상화와 자동화는 각각 문제의 복잡성과 규모를 효과적으로 공략할 수 있는 좋은 무기이다. 추상화는 분할하고 감추는 방식으로 문제의 복잡성과 씨름할 수 있게 해 주고, 자동화는 컴퓨터를 이용해 계산 생성 속도를 높이는 방식으로 문제의 규모를 다룰 수 있게 해 주기 때문이다. 그렇다면 추상화와 자동화를 연결시켜 하나의 흐름으로 정밀하게 엮어주는 것은 무엇인가? 그것은 바로 '계산'이다. 어떤 문제에 대해서든지 '계산'이라는 일관된 관점에서 관련 현상을 관찰·해석하고 정형화해 추상체들을 설정하고, 적정 컴퓨터를 선정해 이루어지는 자동화 역시 각 추상체와 관련된 '계산' 생성 알고리즘을 구현하는 데에 초점을 맞추기에 그렇다. 계산은 컴퓨터과학의 가장 본질적인 요소이다. 계산은 모든 현상을 일관되게 관찰하고 포괄적으로 종합할 수 있게 해 주는 핵심 요소이다.

문제는 계산 원리가 컴퓨터과학의 본질적 요소로서 문제해결에 있어 엄청나게 중요한 역할을 하는데, 초중등 교육뿐만 아니라 대학 전공 교육에서조차도 계산 원리 학습이 제대로 이루어지고 있지 않다는 것이며, 계산 원리 학습을 효과적으로 지원해 주는 도구도 거의 없다는 것이다. 본 논문은 먼저 계산 원리 학습과 관련된 다양한 측면을 개괄적으로 정리·제시함으로써 계산 원리 학습의 중요성과 필요성을 논하고 계산 원리 학습의 내용 요소와 방향을 설정·제시하고 있다. 그리고 그와 같은 활동을 효과적으로 지원하기 위해 계산 원리 학습도구가 갖추어야 할 기능 요소들을 분석적으로 고찰·도출해, 향후 관련 도구 개발 시 검토하고 참고할 기준 지침으로 제안하고 있다.

# II. 이론적 배경

## 1. 계산 원리와 교육

### 가. 계산 원리

계산 원리는 컴퓨터과학의 원리 중 컴퓨터과학의 본질과 직접적으로 연관된 핵심 원리이다. Denning(2007)이 제시한 7가지 범주의 컴퓨팅의 원리 중 계산 원리 부문을 간략히 정리하면 다음과 같다.

① 표현(representations)은 정보(information)를 가지고 있다.
- 표현은 정보를 전하는 심볼들의 패턴이며 모든 표현은 '매개체'라 불리는 물리 현상 속에서 구현된다.
- 관찰자들은 패턴을 읽어냄으로써 의미를 파악하고 영향을 끼친다.
- 표현의 의미(해석)는 관찰자와 표현 간의 상호작용 수단에 종속된다.
- 표현은 유한하며, 두 표현이 동일 정보를 가지면 서로 동일하다.

② 계산(computation)은 표현들의 순차(a sequence of representations)이다.
- 계산은 알고리즘에 의해 야기된 데이터 표현 상태들의 순차이다. 아날로그 기계에서, 계산은 연산자 네트워크에 의해 생산된 연속 함수이다. 계산은 처리라 불리기도 한다.
- 상태 그 차체가 값들의 표현이므로, 계산은 표현들의 순차(연속적인 순차 포함)라고 단순하게 말해도 부족함이 없다. 연이은 표현들은 연산자에 구현된 논리적 규칙에 의해 제어된다.
- 미래에 새로운 계산 형태는 양자 컴퓨팅, 생물정보학, 시맨틱 네트워크, 경제학 등에서 나올 것으로 보인다. 공통 요소는 모든 형태가 표현의 순차라는 것이다.

③ 표현은 그리 많게는 아닐지라도 압축될 수 있다.
- 긴 표현 L과 짧은 표현 S가 동일한 정보를 가진다면, L로부터 S를 구성하는 알고리즘을 압축(compression)이라 부른다. 되돌릴 수 있는 압축인 경우 S로부터 L을 복구해내는 알고리즘을 압축해제(decompression)라 한다. 압축해제를 통해 S로부터 L을 완전히 복구해낼 수 있을 때, 해당 압축을 무손실(lossless) 압축이라 한다.
- 무손실 압축의 한 가지 유익은 L 내의 인코딩된 심볼들은 보다 짧은 코드로 대체할 수 있다는 것이다. 예를 들어 L 내의 8-비트 아스키(ASCII) 코드들 대신 평균 길이 6 비트인 가변 길이 코드를 사용해 보다 짧은 표현 S를 구성할 수 있다. 원래 8-비트 코드를 단순 복원함으로써 S는 L로 압축해제 될 수 있다.

④ 계산은 열려 있거나 닫혀 있다.
- 시작 상태에서 출발해 유한 시간 내에 종료 상태에 이르는 것을 그 목적으로 할 경우, 해당 계산이 닫혀 있다고 한다.

- 닫힌 계산(closed computation)은 시작 상태를 종료 상태로 대응시키는 수학적 함수와 결부된다.
- 무한히 계속되는 것을 그 목적으로 할 경우, 해당 계산이 열려 있다(open computation)고 한다. 어떤 상태에서 계산은 주변 환경과 정보를 교환한다. 외부에서 주어진 요구(태스크라 불림)는 계산의 상태를 변경하며, 태스크에 대한 응답은 주변 환경으로의 출력이다.

⑤ 계산은 문제해결에 대한 특유의 속도를 가진다.
- 닫힌 계산의 해결 시간은 시작 상태에서 출발한 후부터 종료 상태에 이르기까지 소요된 시간이다.
- 열린 계산(open computation)의 해결 시간은 태스크(task)가 주어진 후부터 응답이 이루어지기까지 소요된 시간을 의미한다.

⑥ 복잡도(complexity)는 계산을 완료하는데 필요한 시간이나 공간을 측정한다.
- 모든 컴퓨팅에 걸쳐 거론되는 주제로서 복잡도는 알고리즘의 계산을 끝마치기 위해 요구되는 시간 혹은 공간을 의미한다. 잠재적으로 알고리즘은 그 입력에 따라 발생 가능한 계산들의 무한한 공간을 가지고 있기 때문에, 복잡도 평가는 어려운 일이다. 일반적으로 보다 큰 입력 데이터 집합은 더 긴 수행시간과 더 많은 메모리 공간을 요구한다.
- 휴리스틱(heuristics)은 NP 문제에 대한 근사해를 찾기 위해 경험에 기반해 주먹구구식 방법을 적용하는 다항시간 알고리즘이다. 최적치에 근접한 답을 찾아준다고 보장하지는 못하지만, 관례상 휴리스틱은 종종 충분히 좋은 답을 제시한다.
- 계산 A를 인코딩해 계산 B의 사례로 만든 후 해결 가능하면 A는 B로 환원될 수 있다(reducible)고 말한다. 이 경우 인코딩 과정은 다항시간보다 나쁘지 않아야 한다.

⑦ 실제 처리과정의 유한 표현(finite representations)은 항상 오류를 포함한다.
- 연속적인 실제 변수나 처리과정에 대한 표현은 유한한 개수의 표현된 점들로 무한히 많은 실제 점들을 다룰 수 없기 때문에 결코 정확할 수 없다. 표현 오류는 실수와 그것을 표현한 수 사이의 차이이다. 신중히 계획함으로써 출력의 표현 오류를 제한하도록 알고리즘을 조직화할 수 있다.
- 제대로 조직화되지 않은 긴 계산을 수행하게 되면, 표현 오류가 누적되어 최종 결과로서 엄청난 오류가 내재된 부동소수점 수가 산출될 수 있다.

### 나. 계산모델

계산은 그것이 기반하고 있는 계산모델(computation model)의 관점에서 정의되는 처리 과정이다. 계산모델은 컴퓨팅 시스템에 대한 수학적 추상체로, 계산에서 사용될 수 있는 연산들의 집합과 각 연산의 비용을 정의한다. 따라서 어떤 계산에 대해 정확히 이해하려면 그것이 기반하고 있는 계산모델에 대해 올바로 알아야 한다. 이것이 계산모델과 연계한 계산 원리 학습이 필요한 이유다.

특정 운영체제나 프로그래밍 언어를 알면 해당 시스템 상에서 발생하는 여러 가지 현상이나 해당 언어로 구현된 프로그램의 수행 행태를 보다 잘 이해 할 수 있듯이, 특정 계산모델을 알면 그 모델

을 기반으로 한 계산에 대해 보다 잘 이해할 수 있다. 또한 다양한 운영체제나 프로그래밍 언어를 익히고 있을 경우 특정 작업의 수행 혹은 구현에 적합한 시스템과 언어를 보다 잘 선택할 수 있게 되듯이, 다양한 유형의 계산모델을 알고 있을 경우 적정 계산모델을 선택하거나 변형함으로써 원하는 계산을 생성해 주는 알고리즘을 보다 효과적으로 찾을 수 있게 된다.

대표적인 계산모델에는 튜링기계(Turing machine), 재귀함수(recursive function), 람다계산(lambda calculus), 유한상태 기계(finite state machine), 유한상태 오토마타(finite state automata) 등이 있다.

### 다. 계산 원리 학습의 중요성

계산 원리는 컴퓨터과학의 핵심 원리이다. 계산 원리는 인공물 혹은 자연물들 속에서 발생하고 있는 모든 현상들을 '정보처리 과정'이라는 통일된 관점에서 접근할 수 있게 해 주기 때문에 그렇다. 정보처리 과정이라는 관점에서 해당 현상을 해석·모델링하고 적정 컴퓨터를 선정해 시뮬레이션할 수 있는 것도, 현상 속에 존재하는 요소들과 컴퓨팅 시스템이 특정의 방식으로 상호작용할 수 있도록 구상·설계·자동화할 수 있는 것도 컴퓨터가 발생시키는 현상과 주변 세계에서 일어나는 현상 모두를 '정보처리 과정' 혹은 '계산'이라는 공통의 틀로 해석해 엮어 놓을 수 있기 때문에 가능한 것이다(Denning, 2005).

계산 관점에서 현상에 접근하고 문제를 해결하는 능력은 어떤 분야에서 일을 하든지 누구에게나 요구되는 기초 역량이다. 그 역량이 계산 원리에 기반하고 있다는 점은 계산 원리 학습의 중요성을 설명해 준다. 계산 원리 학습이 미흡할 경우 놓치게 되는 기회와 유익을 개괄적으로 정리하면 다음과 같다.

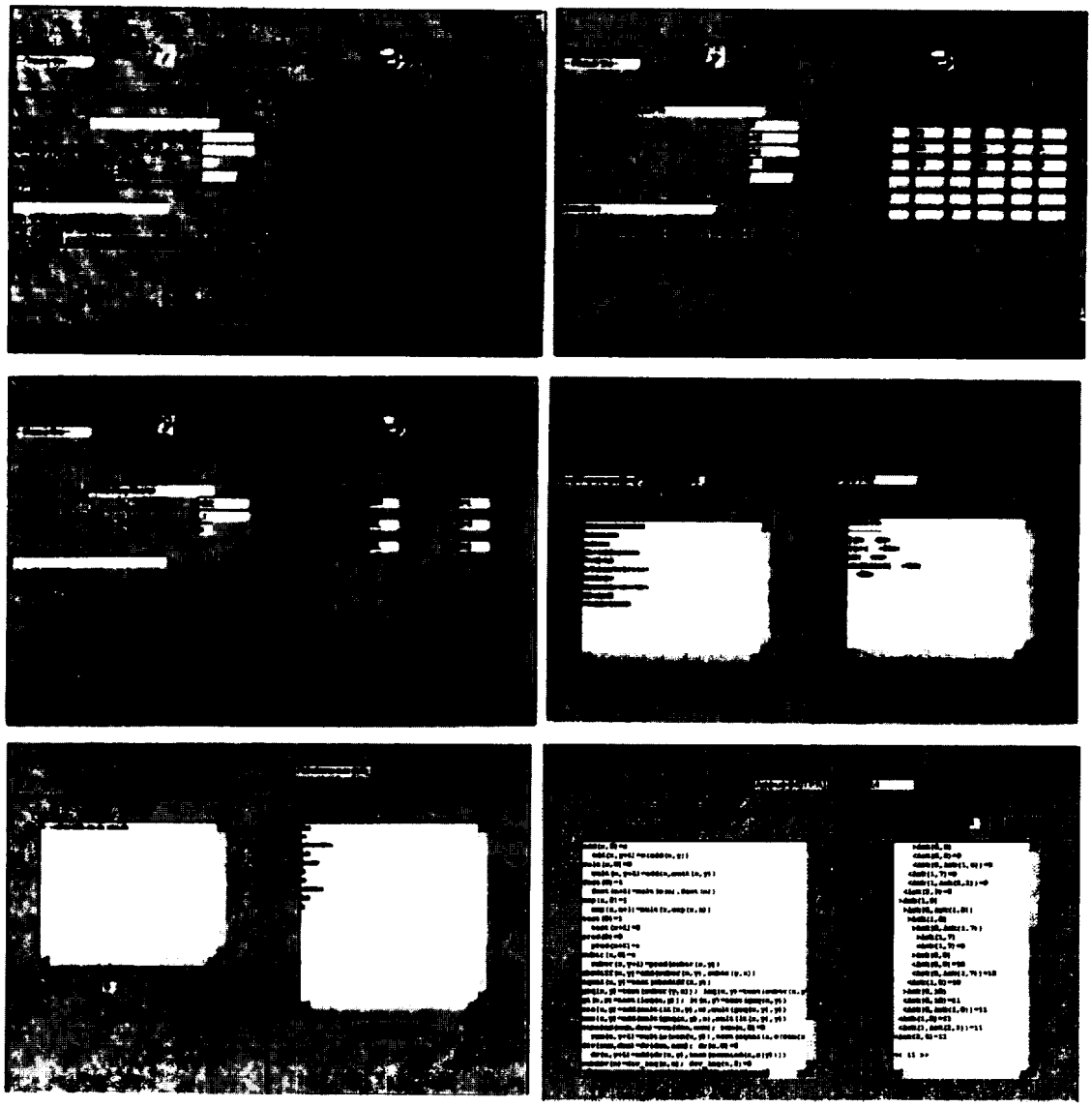
- 다양한 영역에서 발생하는 현상을 '계산'의 관점에서 접근함으로써 얻을 수 있는 발견과 성취의 기회를 제공받지 못한다.
- 계산 개념을 매개로 다양한 분야의 지식이나 기술, 업적 등을 통합 혹은 융합할 수 있는 기회를 얻지 못한다.
- 단순화, 새로운 발견, 혁신 등을 가능케 한 기술들 간의 공통 원리를 밝힐 수 없다.
- 분야 간 공동 관심사를 효과적으로 논의할 수 있는 공통의 언어를 제공받을 수 없다.
- 계산을 가르치고 배우기 위한 새로운 접근방법에 대해 영감을 줄 수 없다.
- 컴퓨팅 관련 지식과 기술을 제반 영역에 효과적으로 적용하려 할 때 요구되는 유연성과 일관성에 근본적인 제약을 받게 된다.
- 컴퓨터과학에 대해 직간접적으로 관심을 가진 젊은이들에게 영감을 줄 수 없다.

이와 같은 기회와 유익을 얼마나 풍성히 얻고 향유하는 지는 계산 원리 학습의 충실성에 달려 있다. 이와 관련해 안타까운 문제 중 하나는 컴퓨터과학과 관련된 전공을 이수하는 학생들조차 계산 원리에 대한 학습 기회를 제대로 부여받지 못하고 있는 것이다. 대부분의 전공자들이 계산에 대한 개념을 제대로 정립하지 못한 채 컴퓨터의 구조와 사용법, 프로그래밍 등을 배우며 컴퓨터과학의

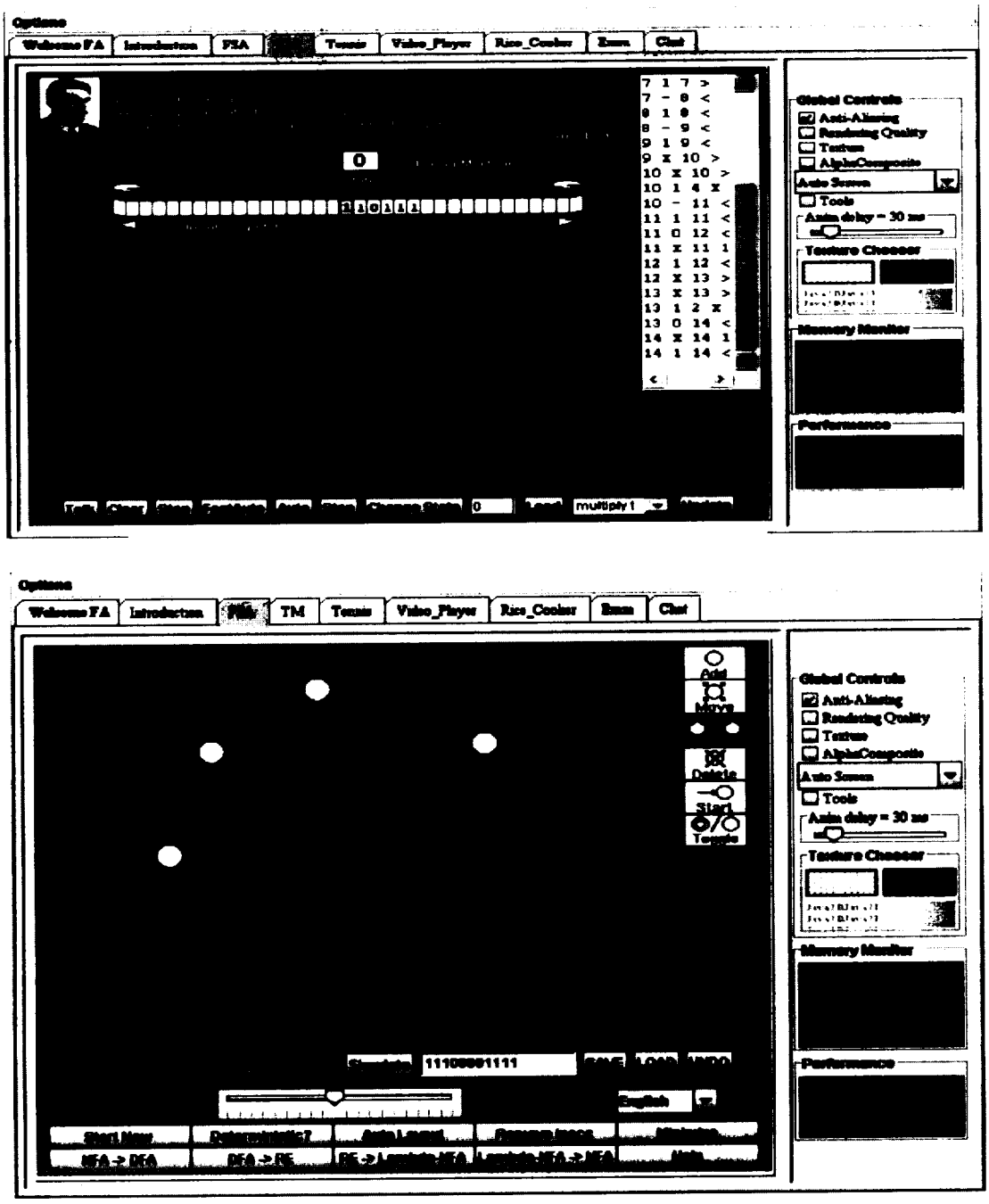
전문 지식을 쌓고 있는 것이 우리의 현실이다. 이점에서 계산 원리 학습도구의 필요성이 보다 절실하다 하겠다.

## 2. 계산 원리 학습 관련 도구

### 가. 계산모델 시뮬레이터



[그림 1] 계산 원리 학습도구의 사례 1



[그림 2] 계산 원리 학습도구의 사례 2

계산모델 시뮬레이터(computation model simulator)는 특정 계산모델의 특성과 동작을 시뮬레이션 해주는 학습 도구이다. 학습자는 이 도구를 이용해 해당 계산모델에 기반한 계산 작업을 구체적으로 수행시켜 보면서 계산모델의 특성 및 동작 원리를 학습할 수 있다. 한 사례로서 Hannay(2002)가

제안하고 있는 [그림 1]의 계산이론 학습 도구는 각각 한 가지의 계산모델을 학습할 수 있게 지원하는 6개의 모듈이 통합된 웹기반 상호작용 도구이다. [그림 1]은 상단에서 하단, 왼쪽 열에서 오른쪽 열의 순서로 각각 유한상태기계(finite-state machine), 푸시다운기계(pushdown machine), 튜링기계(Turing machine), 정규수식(regular expressions), 문맥자유 문법(context-free grammars), 재귀함수(recursive functions) 관련 모듈에 대한 사용자 인터페이스를 보여준다. 학습자는 도구가 미리 정의해 제공하는 계산모델 사례(특정 계산을 수행하는 튜링기계 등)들을 이용해 학습할 수도 있지만, 사용자 스스로 새로운 계산모델 사례를 정의하면서 관련된 계산이론을 학습할 수도 있다.

[그림 2]는 Hamada(2008)가 제시한 유한상태기계 및 튜링기계 시뮬레이터 기능과 더불어, 관련된 학습/평가 자료와 대화식의 협동 학습 기능을 제공하는 계산이론에 대한 통합 학습 환경이다. 이 도구 역시 이미 정의된 계산모델 사례들을 이용한 학습 형태와, 새로운 계산모델 사례들을 정의하는 학습 형태를 모두 지원한다.

[그림 1]과 [그림 2]의 도구들은 대표적인 계산모델들과 관련 이론을 효과적으로 학습할 수 있게 지원하는 도구이다. 각 계산모델의 동작을 대화식으로 조작해 보면서 해당 모델의 구체적 기능과 개념을 익힐 수 있게 지원하지만, 다수의 계산들을 조합해 복합적인 계산을 정의할 수 없을 뿐만 아니라, 계산과 실세계 간의 상호작용을 정의하거나 관찰할 수 없는 한계를 가지고 있다.

### 나. 프로그래밍 언어

프로그래밍 언어는 다양한 계산을 생성을 할 수 있는 알고리즘을 실제 혹은 가상 기계 상에서 수행될 수 있게 구현하는 도구이다. 일반적으로 기본적인 데이터 타입과 데이터 표현, 기본 연산을 제공하며, 이들을 조합해 보다 복잡한 데이터 구조와 알고리즘을 표현할 수 있는 규칙(문법)을 지원한다. 문제는 프로그래밍 언어가 계산 원리 학습이 아니라 실제로 동작하는 프로그램을 작성하기 위한 목적으로 만들어졌다는 것이다. 그래서 계산 원리 학습을 위해 기본적인 프로그램을 작성해 보려 해도 계산 원리와 무관한, 프로그래밍 언어 개념이나 문법들을 다수 익혀야 하는 부담을 준다. 이들 요소는 실제로 프로그래밍 언어 학습이나 프로그래밍 학습 자체를 어렵게 만드는 주된 요소로 작용하기도 한다. 그와 같은 요소들을 최소화해 곧 바로 알고리즘을 표현하는데 집중할 수 있도록 지원하는 교육용 프로그래밍 언어들이 다수 있지만, 이들 역시 궁극적으로 프로그래밍 언어 학습이나 프로그래밍 학습을 목적으로 하고 있어 효과적인 계산 원리 학습에 필요한 제반 요소들을 제공하고 있지 않다는 한계를 가지고 있다.

### 다. 로봇 제어 프로그램 개발 도구

로봇 프로그래밍은 프로그래밍 교육의 효과를 높이기 위한 동기부여의 한 방법으로, 혹은 물리 시스템 제어와 관련된 프로그래밍 교육의 한 영역으로서, 혹은 IT 융합교육의 주요 요소 중 하나로서 크게 주목 받고 영역이다. 로봇 프로그래밍 활동을 통해 계산이 실세계와 어떻게 상호작용할 수

있는지를 실질적으로 실험하며 계산 원리를 학습할 수 있지만 프로그래밍 과정을 거쳐야 계산과 실세계 간의 상호작용을 관찰할 수 있어 로봇 프로그래밍 학습 역시 프로그래밍 언어 학습에 내재된 교육적 취약점을 그대로 가지고 있다.

# Ⅲ. 계산 원리 학습도구의 기능 요소

## 1. 계산 원리 학습의 내용 및 방법

### 가. 용어 정의

여기에서는 컴퓨터과학을 "자연적/인공적 정보 처리과정 혹은 계산에 대한 학문"이라 간주하고, 이와 관련된 주요 용어들은 보다 정확히 정의하려 한다. 이는 계산 원리 학습 도구와 관련해 이후에 설명할 내용의 의미를 부다 명확히 하기 위함이다.

계산(computation)은 계산모델(computation model)의 관점에서 설명되어야 한다. 왜냐하면 계산적 형태를 보이는 시스템들의 본질이 다양하고, 어떤 사람이 연구 중인 계산 시스템이나 문제의 유형에 따라 그 사람이 계산에 대해 갖고 있는 인식이 다를 수 있기 때문이다. 계산은 그것이 기초하고 있는 계산모델의 관점에서 정의된 처리과정이다. 여기서 계산모델은 컴퓨팅 시스템에 대한 수학적 추상체이다. 정보 처리과정(information process)은 표현(혹은 상태)의 순차(a sequence of representations)이다. 계산은 표현 간 전이들이 또 다른 표현(알고리즘)에 의해 제어되는 정보 처리과정(계산은 알고리즘에 의해 야기된 데이터 표현 상태들의 순차)이며, 계산 수행의 주체는 에이전트(agent)이다. 컴퓨터는 정보처리 중 일부를 구현하는 수단이지만, 모든 정보처리 과정이 컴퓨터로 구현되지는 않는다. 어디에나 표현이 존재하기에, 계산 역시 어디에나 존재한다.

계산은 그것을 수행하는 에이전트의 본질에 의해서가 아니라 심볼(symbol)들로 구성된 표현(representation)의 순차에 의해 정의된다. 표현은 정보를 전하는 심볼들의 패턴(a pattern of symbols)이다. 표현 순차 상의 어떤 한 표현에서 그 다음 표현으로의 전이는 어떤 에이전트에 의해 수행되는 연산(operation), 즉 연산자(operator)의 적용에 의해 야기된다. 모든 표현은 매개체(carrier)라 불리는 물리적 현상 속에 담겨진다. 종이 위의 잉크나 디스크 표면상의 자기 패턴, 혹은 전자기 파형이나 콤팩트디스크 상의 요철, DNA 내부 아미노산의 3차원 접힌 배열 등이 그 예이다. 표현은 '사물의 전략적 배열(strategic arrangements of stuff)'이다.

계산을 발생시킬 수 있는 수많은 매체 중 하나인 컴퓨터(computer)는 절차적 표현(procedural representation)의 제어 하에 데이터 표현(data representation)을 변환하는 장치로 에이전트의 범주에 포함된다. 입출력 장치들 역시 물리적 효과와 연계된 표현을 다루는 에이전트로 간주될 수 있다.

계산은 이산 처리과정(discrete process)으로서 심볼들로 정의되는 상태들의 순차이다. 한 상태에서 다른 상태로의 전이는 하나 혹은 다수의 처리과정에 의해 빚어진 결과이다. 여기서 처리과정 각각

은 한 컴퓨터상에서 수행 중인 알고리즘이나 컴퓨터상의 응용과 상호작용 중인 인간, 혹은 인터넷 원격 사이트의 또 다른 컴퓨터, 심볼 표현이 가능한 상태를 가진 물리/생물 시스템 등에 의해 야기될 수 있다.

### 나. 계산 원리 학습의 방향

계산은 자연이 행하는 어떤 것이며 컴퓨터는 계산을 연구하는 도구이다. 계산은 표현(상태)을 다루고 조작해 목표하는 표현을 얻는 과정이기에, 컴퓨팅의 중심은 컴퓨터가 아니라 표현이다. 따라서 계산 원리 학습은 표현을 중심으로 이루어져야 한다. 여기서 중요한 문제는 표현을 중심으로 한 계산 원리 학습의 큰 방향을 설정하는 일이다. 즉, 어떤 요소들을 어떤 관점에서 학습해야 할 지 정하는 일이다. 본 논문은 Denning · Freeman(2009)이 제시한 컴퓨팅 패러다임을 근간으로 계산 원리 학습의 방향을 설정하고 있다. 컴퓨팅 패러다임은 컴퓨터과학이 세계를 어떻게 바라보고 문제의 해답에 어떻게 접근하는지를 나타내는 것이기에, 컴퓨터과학과 관련된 모든 학습은 궁극적으로 컴퓨팅 패러다임과 연계될 필요가 있다는 판단에서다. 특히 계산 원리는 컴퓨터과학의 핵심 원리이기에 그에 대한 학습은 처음부터 컴퓨팅 패러다임에 맞추어 설계될 필요가 있으며, 그렇게 되어야 계산 원리 학습자들이 컴퓨터과학의 본질에 보다 정확히 효과적으로 접근할 수 있게 된다. 표현을 중심으로 이루어져야 할 계산 원리 학습의 요소들과 기본 관점을 컴퓨팅 패러다임의 틀에 맞추어 정리하면 다음 <표 1>과 같다.

<표 1>계산 원리 학습 방향

| 패러다임 | 학습요소 | 기본관점 |
|---|---|---|
| 초기화<br>(Initiation) | • 관찰 혹은 구축 대상 시스템이 유한(종료 가능)한 정보처리 과정으로 표현될 수 있는지, 혹은 무한(지속 대화식)의 정보처리 과정으로 표현될 수 있는지 결정 | • 다양한 표현(선형/비선형 표현, 이산적/연속적 표현, 비트 패턴, 방법의 표현)과 표현의 양상(패턴 구성의 규칙과 매개체), 표현의 순차로서 정보처리(계산), 표현 간 전이의 주체로서 에이전트(인공물과 자연물), 인터럽트 처리와 열린 계산<br>• 사물, 상황, 현상 속에 발현된 계산을 발견·관찰하고 적합한 표현들을 나열해 그 과정을 나타냄 |
| 개념화<br>(Conceptualization) | • 대상 시스템의 행동을 생성하는 계산모델(예: 알고리즘, 컴퓨팅 에이전트 등)을 설계 혹은 발견 | • 다양한 계산모델(에이전트), 원시 표현(primitive representation), 원시 연산자(primitive operator), 제어구조(호출, 순차, 선택, 반복), 복합 표현(다수의 표현을 조합한 표현)과 복합 연산(다수의 연산을 조합·추상화한 상위 연산자), 문제해결과 알고리즘<br>• 문제를 정형화하고 해결하는데 적합한 계산모델을 선택·설정·적용할 수 있어야 하 |

| 패러다임 | 학습요소 | 기본관점 |
|---|---|---|
| | | 며, 원시 표현 및 연산을 조합해 보다 높은 차원의 계산을 표현 |
| 실현 (Realization) | • 설계된 처리과정을 명령 수행 능력이 있는 매체 내에 구현한다. 발견된 처리과정에 대한 시뮬레이션 혹은 모델을 설계한다. 정보처리과정의 행동을 관찰 | • 명령 수행 능력이 있는 다양한 매체, 물리적 효과를 가진 표현, 외부세계와 상호작용하는 에이전트<br>• 계산과 계산, 혹은 계산과 외부세계 간 상호작용을 이해·활용 |
| 평가 (Evaluation) | • 해당 구현에 대해 논리적 정확성, 가설과의 일관성, 성능 제약, 원 목표 충족 여부 등을 검증한다. 필요할 경우 구현을 개선 | • 표현의 크기, 문제해결 시간, 복잡도<br>• 표현을 다루는 과정에서 시간적/공간적 자원이 어떻게 사용되는지 이해할 수 있어야 한다. 여러 수준에서 계산의 과정을 고찰하며 개선 가능한 요소들을 찾아냄 |
| 실행 (Action) | • 산출된 결과를 실세계에 반영한다. 지속적 평가를 위해 모니터링 | • 표현을 매개로 한 명령 수행 매체 간 상호작용<br>• 계산과 계산, 혹은 계산과 외부세계 간 상호작용을 이해·활용 |

표현, 계산, 계산모델, 알고리즘 등 위에서 언급한 계산 원리 학습 요소 대부분에 대한 기초 학습은 컴퓨터의 도움 없이도 가능하다. 하지만 표현이나 계산과 관련된 주요 기능을 제공하는 도구가 있다면 계산 원리 학습을 보다 효과적으로 수행할 수 있을 것이다. 본 연구는 위에서 제시한 계산 원리 학습 방향을 고려해 계산 원리 학습도구가 갖추어야 할 기능적 요건들을 도출하였다.

## 2. 계산 원리 학습도구의 기능적 요건

<표 1>의 '기본 관점' 부분에 제시된 요소들을 바탕으로 계산 원리 학습 도구가 지원해야 할 기능 요소 4가지를 도출하였다. 다음은 컴퓨팅 패러다임을 틀로부터 도출된 계산 원리 학습 도구의 기능 요소들이다.

### 가. 다양한 원시 표현과 원시 연산자 제공

학습자가 사물, 상황, 현상 속에 발현된 다양한 계산(표현의 순차)들을 적합한 계산모델(에이전트, 알고리즘)을 선택해 생성할 수 있도록 지원해야 한다. 이를 위해 계산 원리 학습도구가 제공해야 할 기능 요소는 다음과 같다.

- 튜링기계, 유한상태기계 등과 같은 다양한 '계산모델 에이전트'를 제공해야 한다. 적합한 계산모델을 이용해 필요한 원시 연산자를 정의할 수 있게 지원해야 하며, 필요에 따라 새로운 '계산모델 에이전트'를 학습도구에 추가할 수 있게 지원해야 한다.
- 입력 장치로 입력되는 표현들을 적정 형태로 전환해 주는 다양한 '장치 에이전트'를 제공해야 한

다. 입력을 지원하는 '장치 에이전트'들은 학습자가 다양한 표현(패턴 구성의 규칙과 매개체)을 다룰 수 있도록 각 표현을 특정 계산모델에 적합한 표현으로 전환할 수 있는 기능을 갖춰야 한다. 또한, 필요에 따라 새로운 입력지원 '장치 에이전트'를 학습도구에 추가할 수 있게 지원해야 한다.

### 나. 복합 표현/연산자 정의 기능 지원

학습자가 복합적인 표현이나 계산을 이용해 보다 큰 문제에 효과적으로 접근할 수 있도록 지원해야 한다. 이를 위해 계산 원리 학습도구가 제공해야 할 기능 요소는 다음과 같다.

- 다른 표현들을 나열·조합해 복합적인 표현을 정의할 수 있게 지원할 수 있어야 한다.
- 다른 연산자들이 적용될 순서를 명시해 복합적인 연산을 정의할 수 있게 지원해야 한다. 연산자들의 적용 순서를 제어할 수 있게 기본 제어구조(호출, 순차, 선택, 반복) 제공할 수 있어야 하며, 서로 다른 에이전트가 수행하는 연산자들의 조합을 허용(다수의 에이전트들이 연계·협력해 하나의 계산을 생성)함으로써 다수의 계산모델이 적용된 계산을 효과적으로 다룰 수 있도록 지원해야 한다. 또한, 복합 연산을 '사용자 정의 에이전트'로 정의·등록해 활용할 수 있어야 한다.

### 다. 외부환경과의 다양한 형태의 상호작용 지원

학습자가 계산 과정에서 개입하거나 면밀히 관찰할 수 있도록, 혹은 계산이 외부 세계와 상호작용하는 방식을 구체적으로 이해·설정할 수 있도록 지원해야 한다. 이를 위해 계산 원리 학습도구가 제공해야 할 기능 요소는 다음과 같다.

- '사용자 에이전트'를 제공해 사용자 스스로 에이전트가 되어 계산을 수행·관찰할 수 있게 지원해야 한다.
- 특정 표현에 '매개체 접근 에이전트'를 연계시킬 수 있게 지원해야 한다. 표현을 수정하거나 다양한 방식으로 관찰할 수 있게 지원해야 하며, 필요에 따라 새로운 '매개체 접근 에이전트'를 학습도구에 추가할 수 있도록 해야 한다.
- 다양한 외부 장치(프린터, 스피커, 보드, 로봇 등)에 대응하는 '장치 에이전트' 제공해야 한다. 특정 표현을 해당 장치에 대한 물리적 효과로 전환하는 기능과 계산 과정이나 결과가 물리적 장치의 작동에 어떤 영향을 주는지 관찰할 수 있도록 지원해야 한다.
- 대화식 계산을 지원해야 한다. 이벤트 처리 에이전트 관리, 이벤트 처리를 위한 문맥 관리 기능, 이벤트에 대한 동기화 기능을 지원해야 한다.

### 라. 계산 생성 과정에 대한 통제 및 분석 기능 지원

학습자가 에이전트(사람, 알고리즘, 계산모델 등)의 계산 생성 과정을 적절히 통제하며 관찰·분석할 수 있도록 지원해야 한다. 이를 위해 계산 원리 학습도구가 제공해야 할 기능 요소는 다음과 같다.

- 에이전트의 연산자 적용에 대한 통제 및 분석 기능을 제공해야 한다. 적정 단위로 연산자를 적용하며 계산 과정을 분석과 적용된 연산자 수의 합을 산출해 제공함으로써 시간 복잡도를 분석 하는 기능을 지원해야 한다.
- 매개체 재사용 및 분석 기능을 제공해야 한다. 매개체에 대한 참조(reference) 설정 기능을 제공함으로써 특정 매개체에 담긴 표현을 적정 상황, 적정 시점에 재사용할 수 있도록 지원해야 하며, 표현이 담긴 매개체들의 크기 합을 산출해 제공함으로써 공간 복잡도를 분석하는 기능을 제공해야 한다.

## 3. 관련 도구 분석

앞 절에서 도출한 계산 원리 학습도구가 갖추어야 할 4가지 기능 요소들에 대해 기존의 계산 원리 학습 관련 도구들을 비교·분석하면 각각 <표 2>, <표 3>, <표 4>와 같다.

<표 2> 계산모델 시뮬레이터 분석

| | 계산모델 시뮬레이터 |
|---|---|
| 원시 표현/연산자 | • 적정 계산모델을 선택해 논리적 단위의 특정 연산을 수행하는 컴퓨팅에이전트를 정의할 수 있음<br>• 논리적 단위의 연산들을 보다 큰 계산에 활용할 수 있도록 원시연산 형태로 설정할 수 없음<br>• 모든 표현을 패턴구성의 규칙과 매개체의 요소로 인식하도록 유도하기 어려움 |
| 복합 표현/연산자 | • 컴퓨팅 에이전트로서 원시연산들을 나열·조합해 상위 연산을 정의·활용할 수 없음<br>• 미리 정해진 형식의 표현(패턴구성 규칙과 매개체)만 지원함 |
| 외부환경과의 상호작용 | • 외부장치와 적정 형태의 표현을 주고받을 수 있게 지원함으로써 계산과 외부세계 간의 상호작용을 적절히 설정·관찰·조작할 수 없음<br>• 컴퓨팅 에이전트로서 사용자의 역할을 설정할 수 없음<br>• 표현 매개체에 대해 초기값을 설정하거나 미리 정해진 형태의 관찰만 허용됨<br>• 이벤트 동기화 및 처리를 위한 계산은 설정할 수 없음 |
| 통제 및 분석 | • 수행 속도 제어를 위한 이벤트 처리만 지원됨<br>• 매개체 참조 기능은 없으며, 특정 매개체만 한정된 방식으로 관찰 가능함<br>• 복잡도 관점에서 계산 과정을 관찰·분석할 수 있게 지원하지 않음 |

기존의 계산모델 시뮬레이터는 특정 계산모델의 특성과 동작을 시뮬레이션 해주는 학습 도구로 학습자가 계산 작업을 구체적으로 수행시켜 보면서 계산모델의 특성 및 동작 원리를 학습할 수 있으나, 다수의 계산들을 조합해 복합적인 계산을 정의할 수 없을 뿐만 아니라, 계산과 외부세계 간의 상호작용을 정의하거나 관찰 및 조작할 수 없는 한계를 가지고 있다.

계산 원리 학습 및 적용 범위가 자연스럽게 확대되게 하려면 교수자와 학습자 모두가 비전공자인 경우에도 계산 원리 학습도구의 기능을 손쉽게 사용할 수 있어야 한다. 이 점에서 프로그래밍 언어와 관련해 다음 두 가지를 고려해야 한다. 첫째는 전공자들에게는 계산 원리와 연계시켜 프로그래

밍 언어를 가르칠 수 있고 또 그럴 필요가 있다는 것이다. 문제는 대부분의 교육 현장에서 그렇게 하지 않고 있고, 이로 인해 많은 전공자들이 계산 원리에 대한 실질적 학습 기회를 놓치고 있다는 것이다. 계산 원리와 프로그래밍 교육의 효과적 연계 방안 연구가 시급하다. 둘째는 대상이 전공자가 아니라 비전공자인 경우에는 프로그래밍 언어를 도구로 한 계산 원리 학습이 부적합하다는 것이다. 이는 비전공자가 프로그래밍 언어와 관련된 세부 사항까지 추가로 학습해야 하는 적지 않은 부담을 주기 때문이다. 물론 교육용 프로그래밍 언어를 활용할 경우 관련된 학습 부담이 다소 경감될 수는 있겠지만 프로그래밍에 의해 학습자에게 주어지는 근본적 부담이 해소되지는 않는다.

<표 3> 프로그래밍 언어 분석

| | 프로그래밍 언어 | |
|---|---|---|
| | C | Java |
| 원시 표현/연산자 | • char, short, int, long, float, double 등 기본적인 데이터 표현을 위한 타입과, 데이터의 위치(주소)를 표현하기 위한 포인터 타입을 제공해 다양한 원시 표현을 지원함<br>• 사칙연산자(+, −, *, /)를 비롯해 산술/관계/논리/치환/비트 연산자, 주소 연산자, 간접참조 연산자 등 다양한 원시 연산자를 제공함<br>• 주기억장치를 매개체로 다양한 타입(패턴구성 규칙)의 표현을 다룰 수 있게 지원함<br>• 라이브러리 수준에서 제공되는 파일(file) 개념을 이용해, 외부장치를 매개체로 바이트 순차 형식의 데이터 표현을 다룰 수 있음 | • boolean, char, short, int, long, float, double 등 기본적인 데이터 표현을 위한 타입을 제공해 다양한 원시 표현을 지원함<br>• 사칙연산자(+, −, *, /)를 비롯해 산술/관계/논리/치환 연산자 등 다양한 원시 연산자를 제공함<br>• 자바가상기계(JVM)의 동적메모리(dynamic memory)를 매개체로 다양한 타입(패턴구성 규칙)의 표현을 다룰 수 있게 지원함<br>• 라이브러리 수준에서 제공되는 파일(file) 관련 클래스들을 이용해, 외부장치를 매개체로 바이트 순차 형식의 데이터 표현을 다룰 수 있음 |
| 복합 표현/연산자 | • 구조체와 배열, 멤버지정 연산자, 배열첨자 연산자 등을 이용해 복합적인 데이터를 표현하고 다룰 수 있음<br>• 식(expression)을 이용해 일련의 원시 연산자를 특정 순서로 적용되도록 표현할 수 있음<br>• 식문, 선택문, 반복문, 분기문, 블록문, 레이블문 등 다양한 문장들을 나열·조합해 식들의 수행절차를 표현할 수 있음<br>• 다수 연산이 합성된 복합 연산자로서 함수(function) 개념을 제공해, 함수 정의 | • 클래스(class) 정의 및 인스턴스(instance) 생성, 배열 클래스, 참조(reference) 타입, 객체멤버참조연산자 등을 이용해 데이터와 연산의 복합체를 표현하고 다룰 수 있음<br>• 식(expression)을 이용해 일련의 원시 연산자를 특정 순서로 적용되도록 표현할 수 있음<br>• 식문, 선택문, 반복문, 분기문, 블록문, 레이블문 등 다양한 문장들을 나열·조합해 식들의 수행절차를 표현할 수 있음 |

| | 프로그래밍 언어 | |
|---|---|---|
| | C | Java |
| | (function definition) 및 함수 호출(function call)을 통해 복합 연산자를 정의·활용할 수 있음 | • 다수 연산이 합성된 복합 연산자로서 메소드(method) 개념을 제공해, 특정 클래스의 객체에 대한 메소드정의(method definition) 및 메소드호출(method call)을 통해 복합 연산자를 정의·활용할 수 있음 |
| 외부환경과의 상호작용 | • 파일에 대한 읽기, 쓰기 등을 통해 외부 환경과의 상호작용을 설정·조작할 수 있음<br>• 주기억장치나 파일 상의 표현을 관찰하려면 별도의 도구를 이용하거나 추가적인 코딩 작업이 필요함<br>• 컴퓨팅 에이전트로서의 사용자 역할을 가정하고 있지 않음<br>• 이벤트 처리 및 동기화와 관련된 시스템 호출 라이브러리 등을 이용해 이벤트 처리 및 동기화를 위한 계산은 설정할 수 있지만, 이해하고 구현하기 어려움 | • 파일에 대한 읽기, 쓰기 등을 통해 외부 환경과의 상호작용을 설정·조작할 수 있음<br>• JVM의 동적메모리나 파일 상의 표현을 관찰하려면 별도의 도구를 이용하거나 추가적인 코딩 작업이 필요함<br>• 컴퓨팅 에이전트로서의 사용자 역할을 가정하고 있지 않음<br>• GUI 클래스와 이벤트 처리, 다중스레딩(multithreading) 등을 이용해 이벤트 처리 및 동기화를 위한 계산은 설정할 수 있지만, 상당히 높은 수준의 설계와 코딩이 필요함<br>• 객체지향 패러다임을 지원해 외부 세계의 다양한 사물들이 상호작용하는 상황을 보다 효과적으로 모델링·구현할 수 있지만 상당히 높은 수준의 설계와 코딩이 필요함 |
| 통제 및 분석 | • 포인터 등을 이용해 주기억장치 상의 매개체에 대한 관찰·조작 가능함<br>• 파일 관련 라이브러리를 이용해 외부장치 상의 매개체들에 대한 관찰·조작 가능함<br>• 계산의 수행 속도를 제어하려면 디버거와 같은 별도의 도구를 이용하거나 추가적인 코딩 작업이 필요함<br>• 복잡도 관점에서 계산 과정을 관찰·분석하려면 별도의 도구 혹은 추가 코딩이 필요함 | • 반영(reflection) 개념을 지원하는 클래스 객체들을 이용해 JVM의 동적메모리 상에 설정되는 매개체들에 대한 관찰·조작 가능함<br>• 파일 관련 라이브러리 클래스들을 이용해 외부장치 상의 매개체들에 대한 관찰·조작 가능함<br>• 계산의 수행 속도를 제어하려면 디버거와 같은 별도의 도구를 이용하거나 추가적인 코딩 작업이 필요함<br>• 복잡도 관점에서 계산 과정을 관찰·분석하려면 별도의 도구 혹은 추가 코딩이 필요함 |

<표 4> 로봇 제어용 프로그램 개발 도구 분석

| | 로봇 제어용 프로그램 개발도구 |
|---|---|
| 원시 표현/연산자 | • 일반적으로 그래픽 기반 프로그래밍 도구일 경우 원시 표현/연산자에 대한 다양성이 적음<br>• 데이터 표현과 절차적 표현이 로봇 내부의 적정 매개체에 담겨져 관련 계산이 생성됨<br>• 로봇에 장착된 장치(모터, 센서 등)들을 제어할 수 있도록 관련된 데이터 표현과 연산자를 제공함 |
| 복합 표현/연산자 | • 일반적으로 그래픽 기반 프로그래밍 도구일 경우 복합적인 데이터 표현에 대한 지원이 크게 제한됨<br>• 일반적으로 그래픽 기반 프로그래밍 도구일 경우 원시 연산자들을 나열·조합해 복합적인 연산을 정의할 수 있지만, 이렇게 정의된 상위 연산자의 활용은 크게 제한됨 |
| 외부환경과의 상호작용 | • 로봇에 장착된 다양한 장치를 제어함으로써 물리적 주변 환경과의 상호작용을 적절히 설정·관찰·조작할 수 있음<br>• 로봇과 상호작용하는 컴퓨팅 에이전트로서 사용자의 역할을 설정할 수 있음<br>• 센서 등을 매개로 이벤트 처리 및 동기화를 위한 계산을 설정·관찰·조작할 수 있음 |
| 통제 및 분석 | • 수행 속도를 제어하려면 해당 기능을 수행하는 코드를 로봇 제어 프로그램에 포함시켜 코딩해야 함<br>• 로봇 내부의 매개체를 일부 관찰할 수 있음<br>• 로봇의 성능이나 용량의 제한, 내부 상태에 대한 관찰의 어려움 등으로 복잡도 관점에서 계산 과정을 관찰·분석하기 어려움 |

로봇 제어용 프로그램 개발 도구는 계산 수행에 의해 빚어지는 로봇과 실세계의 상호작용을 관찰·조작할 수 있다는 강점이 있다. 하지만 로봇이 특정 계산을 수행하게 하려면 프로그래밍 과정을 거쳐야 하기에 프로그래밍 언어 도구의 취약점에 그대로를 노출된다. 또한 모터나 센서 제어의 부정확성 문제, 로봇 내부 상태에 대한 접근 제한 문제 등으로 계산 과정을 관찰·분석하는 면에서도 어려움이 크다.

# Ⅳ. 결 론

컴퓨터과학 교육에 있어 계산 원리 학습은 매우 중요한 의미를 갖는다. 이는 계산(computation)이 컴퓨터과학의 중심 연구 대상이고 기본 원리이기 때문이다. 따라서 컴퓨터과학에 대해 올바로 이해하고 본질적 측면에서 접근하려면 계산에 대한 깊은 이해가 바탕이 되어야 한다. 더욱이 계산 원리에 기초한 사고 능력은 지식기반 사회 구성원들의 일상적/학문적 제반 활동의 기본 역량으로 요구되고 있어, 계산 원리 학습의 중요성은 더욱 커질 것이다. 문제는 우리가 지금까지 초중등 교육과 대학 교육에서 '계산 원리'에 대한 교수·학습이 제대로 이루어지지 않고 있다는 것이다. 초중등 컴퓨터 교과목에서는 물론, 컴퓨터과학 관련 전공 교육에서조차 '계산 원리' 자체에 주안점을 둔 교육이 이루어지고 있지 않다는 것은 매우 심각한 것이다. 개론 교과목에서는 컴퓨터의 구성이나 컴퓨터과학의 세부 분야 개괄을 소개하는데 그치고 있고, 프로그래밍 교과목에서도 프로그래밍 언어 표

현의 습득과 기본 프로그램 작성 훈련에 주안점을 두고 있을 뿐이다. 알고리즘 교육도 대부분 문제 해결 방법이나 패러다임, 복잡도 분석 등에 초점을 맞추고 있고, 다른 교과들 역시 해당 영역의 이론이나 기술을 가르치는데 대부분의 시간을 할애하고 있다. 초중등 교육 역시 대학 교육과 동일 성격의 내용을 조금 쉽게 개괄적으로 제시하고 있는 게 컴퓨터과학 교육의 현실이다. 이와 관련해 '계산 원리 학습'과 관련된 교육적·제도적 방안도 시급히 강구해야 하겠지만, '계산 원리 학습'을 보다 효과적으로 지원하는 교수학습 방법의 도출 또한 병행·연구되어야할 매우 중요한 일이다.

본 논문에서는 먼저 컴퓨터과학 관점에서의 계산 원리 학습을 도와주는 학습도구의 필요성을 논하고 계산 원리 학습의 내용 요소와 방향을 도출한 후, 그와 같은 활동을 효과적으로 지원하기 위해 계산 원리 학습도구가 갖추어야 할 기능 요소들을 고찰·제안하고 있다. 계산모델 시뮬레이터나 프로그래밍 언어, 로봇 등 계산 원리 교육에 활용 가능한 도구들이 있지만, 이들은 근본적으로 계산 원리에 초점을 맞추고 있지 않아 계산 원리 학습을 효과적으로 지원하지 못한다. 계산모델 시뮬레이터들은 주요 계산모델들에 대한 실질적 조작 경험을 제공함으로써 계산모델의 작동 방식과 관련 이론을 보다 구체적으로 습득할 수 있게 도와줄 뿐이다. 프로그래밍 언어나 교육용 프로그래밍 언어도 문제 해결 프로그램을 보다 잘 이해하고 작성할 수 있게 도와주지만, 프로그래밍에 내재된 계산 관련 요소들을 계산 원리 관점에서 다루어 보면서 학습할 수 있게 지원하지는 않는다. 로봇과 같이 계산과 실세계의 상호작용을 관찰·설정할 수 있는 도구들이 있지만, 로봇 교육용 도구들은 로봇 제어 관련 활동을 보다 쉽게 수행할 수 있도록 도와주는 데에 주안점을 두고 있을 뿐이다.

본 논문에서는 컴퓨터과학이 세계를 어떻게 바라보고 문제의 해답에 어떻게 접근하는지를 나타내는 핵심 틀이 '컴퓨팅 패러다임'임을 인식하고, 컴퓨팅 패러다임에 따른 활동에 계산 원리의 어떤 요소들이 어떻게 적용되는지를 분석해 계산 원리 학습도구가 갖추어야 할 기능적 요소들을 도출하였다. 향후 본 논문에서 제안한 기능 요소들을 갖춘 계산 원리 학습도구를 개발해 실제 학습에 다각도로 적용·분석해 볼 계획이다.

## 참고문헌

Peter J. Denning(2005). Is computer science science?. *Communications of the ACM*, 48(4),27-31.

Peter J. Denning(2007). Great principles of computing. http://cs.gmu.edu/cne/pjd/GP/summaries/gp_computation.pdf

David G. Hannay(2002). Interactive tools for computation theory. *ACM SIGCSE Bulletin*, 34(4), 68-70.

Mohamed Hamada(2008). An integrated virtual environment for active and collaborative e-Learning in theory of computation. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 1(2), 117-130.

Peter J. Denning and Peter A. Freeman(2009). The profession of IT computing's paradigm. *Communications of the ACM*, 52(12), 28-30.

※ 본 논문은 김형철의 제주대학교 교육대학원 석사학위논문의 일부를 수정·보완한 것임

<Abstract>

# A Study on Requirements for Computation Principle based Learning Tools

Kim, Hyung-Chul
(Jeju National University)
Kim, Cheol Min
(Jeju National University)

In the information age, we are faced with various kinds of problems in social and natural environment. How we solve these problems is an important determination factor of our competitiveness.

This paper asks each of us to pay attention to the excellent tools computer science has on this matter. Computing is the automation of our abstraction within the framework of the 'information process' and 'computation'. Computing chooses abstractions for modeling the relevant aspects of a problem to make it tractable. Since computing pursues computational doing through implementing computational systems, all the abstractions and their interaction should be mechanized. Automation with mechanization is possible due to the precise and exacting notations and models based on computation. The problem is that although the computation principle plays a key role in solving difficult problems, in reality, there is little school education on this matter. Further more, there aren't any tools just for teaching and learning the computation principle.

This paper first surveys the computation principle and puts emphasis on the importance and necessity of learning it. Also, this paper analyses and proposes the required functional elements of computation principle learning tools for increasing skills in solving large complex problems. The functional elements are expected to be a good reference when someone develops related tools for computation principle learning.

<Key words> Computation, Computation model, Computer education, Learning tools

# 『교육과학연구』 투고 규정

**제 1 조(목적)**

이 규정은 제주대학교 교육과학연구소 규정 3조 8항에 따라 연구소에서 간행하는 학술지인 교육과학연구(구 교육과학연구 『백록논총』)의 간행과 투고에 관한 사항을 정함을 목적으로 한다.

**제 2 조(간행횟수)**

논문접수는 수시로 하며, 발간일은 5월 31일과 11월 30일이다.

**제 3 조(논문 투고)**

① 모든 투고 논문의 원고는 '흔글'이나 MS워드로 작성함을 원칙으로 한다.

② 투고 논문의 원고 작성형식 및 원고 여백은 교육과학연구소 홈페이지에 게시한 『교육과학연구』 원고 작성요령에 따른다.

③ 논문원고는 수시로 교육과학연구소로 인터넷 온라인으로 투고하거나, 전자우편으로 투고 한다.

④ 원고 제출시 외국어 초록 하단에 연락 주소와 전화번호를 명기하여 홈페이지(http://www.sciencejeju.com) 또는 전자 메일로 제출한다.

⑤ 논문의 저자가 2인 이상인 경우에는 제1저자(교신저자 포함)와 공동저자를 명확히 구분하여 통보하여야 한다. 학술지에 저자를 소개하는 경우에 별도로 적시된 사항이 없으면 가장 먼저 소개된 저자를 제1저자 및 교신저자로 한다.

⑥ 투고 논문에 대한 심사는 『교육과학연구』 심사 규정에 따른다.

⑦ 『교육과학연구』의 언어는 한글로 작성함을 원칙으로 한다. 영문논문은 영문으로만 작성한다. 다만 혼동의 우려가 있는 용어는 괄호 내에 영어, 한자, 기타의 방법으로 표기할 수 있다.

⑧ 고유명사의 경우 해당 언어 발음을 한글로 적되, 일상화된 고유 명사는 예외로 한다. 한자문화권의 경우 고유명사는 한자로 표기 할 수 있다.

**제 4 조(투고 내용)**

① 투고 논문의 내용은 유·초·중등학교와 대학의 교과교육학과 교과내용학에 관련된 논문을 포함한다.

② 『교육과학연구』에 투고하는 논문은 다른 곳에 발표된 적이 없는 독창성을 갖는 것으로 투고 규정을 준수하여야 한다.

**제 5 조(논문 작성)**

① 논문은 이하에서 제시한 편집 기준에 따라 20면 이내로 작성하며 최대 25면을 초과할 수 없다.

② 논문의 작성 순서, 초록, 주제어, 장절항목의 표시는 다음과 같다.

가. 논문 원고의 작성 순서는 논문제목, 저자 이름 및 소속 기관, 국문 초록, 주제어(국문), 본문 및 각주, 참고문헌, 영문초록, 주제어(영문), 저자의 전자우편 주소 및 전화 번호, 부록

으로 한다.

나. 초록은 100-200 단어 사이의 분량으로 하되, 본문이 국문인 경우 외국어로, 본문이 외국어인 경우 국문으로 한다.

다. 주제어의 개수는 3개 이상 6개 이하로 한다.

**제 6 조(논문 편집 기준)**

논문 제목, 장절항목 제목의 번호 부여 및 글자 크기, 인용문, 표와 그림, 단위표시는 다음과 같이 한다.

① 논문 제목의 글자크기는 20 진하게, 각주 글자크기는 9로 작성한다.

② 장절항목 제목의 번호 부여 및 글자 크기

1단계 - Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ... (15 진하게)

2단계 - 1, 2, 3... (13 진하게)

3단계 - 가, 나, 다... (11 진하게)

4단계 - (1), (2), (3)... (10)

5단계 - (가), (나), (다)... (10)

6단계 - ①, ②, ③... (10)

③ 인용문

인용하는 내용이 짧은 경우에는 본문 속에 기술하고, 긴 경우(3행 이상)에는 본문에서 따로 떼어 기술한다. 따로 기술하는 경우에는 인용 부분의 아래위를 본문에서 한 줄씩 비우고 각각 5글자씩 들여 쓰고, 줄 간격은 150으로 한다.

가. 인용하는 저서나 저자명이 본문에 나타나는 경우에는 괄호 속에 발행 연도, 또는 발행 연도와 해당 면을 표시한다.

(예 1) 이 문제에 관하여 홍길동(2001)은...

(예 2) 홍길동(2001: 15)은...

나. 인용하는 저서나 저자명이 본문에 나타나지 않는 경우에는 해당 부분 말미에 괄호를 하고 그 속에 저자명과 발행 연도, 해당 면 등을 표시한다. 참고문헌이 여럿일 경우에는 문헌들 사이를 쌍반점( ; )으로 가른다.

(예 1) ...한 것으로 확인되었다(홍길동, 2001: 18).

(예 2) 한 연구(Anderson, 1999; 홍길동, 2001)에 의하면...

다. 저자가 다수일 경우 3인까지는 모두 표시하되, 4인 이상은 첫번째 저자만 나타내고 그 이하는 다음과 같이 나타낸다.

(국문) 홍길동 외(2001)

(영문) Anderson et al.(2000)

④ 표와 그림

가. 표와 그림에는 일련 번호를 붙이되, 표에는 < >, 그림에는 [ ]과 같은 괄호를 사용하고, 표의 제목은 상단에, 그림의 제목은 하단에 제시한다. 표에서 세로선은 생략한다.

(예) <표 1>, [그림 1]

나. 표와 그림은 원본 그대로를 인쇄할 수 있도록 저자가 완벽하게 만들어 제출한다.

⑤ 단위 표시는 국제 표준(SI)인 미터법을 사용한다.

⑥ 기타 예시되지 않은 인용 및 주석 작성법은 최신 APA(미국심리학회) 방식을 따른다.

**제 7 조(참고문헌 작성)**

① 국문 참고문헌 및 영문 참고문헌의 작성시 유의사항은 다음과 같다.

② 논문의 말미에 아래와 같은 요령으로 제시한다. 여러 나라 문헌을 참고했을 경우 韓·中·日·西洋書 순으로 열거한다. 여기에 예시한 이외의 서양 참고문헌의 작성법은 APA 양식을 따른다.

가. 단행본의 경우: 책 이름은 진하게 한다.

홍길동(2001). **창의력**. 서울: 공공출판사.

홍길동·김기동(2001). **창의력과 평가**. 서울: 공공출판사.

나. 정기간행물 속의 논문의 경우

홍길동·김기동(2001). 열린교육 평가를 위한 연구. **교육학연구**, 39(2), 143-166.

다. 학위논문의 경우

홍길동(2000). 기독교 신앙 행동의 측정과 분석. 박사학위논문. 한국대학교.

라. 편저 속의 논문의 경우

이상호(1998). 아비튀스와 상징질서의 새로운 사회이론. **문화와 권력: 부르디외 사회학의 이해**. 현택수(편), 121-161.

마. 학술발표회 발표논문의 경우

최상진(1999). 문화심리학: 그 당위성, 이론적 배경, 과제 및 전망. 한국심리학회 하계심포지움 문화와 심리학, 1-20. 8월 20일. 서울: 연세대학교 제 2인문관.

바. 신문기사의 경우

동아일보(2001.9.23). 사이버 대학 1학기 수강생 10명 중 8명 꼴 재등록. 19면.

사. 전자 매체, URL 등 인터넷 간행물의 표기

㉠ 인터넷에서 정보를 인출한 경우 자료 원천의 이름과(혹은) 주소를 적은 후 인출한 날짜의 연월일을 구분하여 적고 "...에서 인출"이라고 적어 문장을 끝낸다. 반드시, URL과 인출한 날짜를 기입한다.

American Psychological Association(2001, August 1). APA style for electronic resources. http://www.apastyle.org/styleelecref.html에서 2001.9.5 인출.

㉡ 인터넷의 비정기간행물 문서의 경우 날짜가 명기되지 않고 일반 기관에서 게시한 인터넷 문서가 여러 페이지로 구성되었을 때는 그 문서가 들어간 홈페이지(혹은 첫 화면)로 연결될 수 있는 URL을 적어주고 작성 일자가 없음을 "작성일 불명"(영어는 no date를 나타내는 축약어 n.d.로 표기)이라고 명시한다. 문서작성자를 확인할 수 없는 문서는 그 문서의 제목을 저작자명으로 간주하여 제시한다.

GVU's 8th WWW user survey.(n.d.).
http://www.cc.gatech.edu/gvu/user_surveys/survey-1997-10에서 2000.8.8 인출.

㉢ 기타(온라인 포럼, 토론 및 온라인상에서 읽은 일간지 기사 등)

이정모(2000.12.24). 과학도로서의 심리학도의 자세/신조. http://www.koreanpsychology.org 회원광장 사이버특강에서 2001.10.3 인출.

한국일보(2001.10.12). 생명의 비밀 상자-게놈. http://www.hankooki.com에서 2001.10.12 인출.

② 영문 참고문헌 작성 시 유의 사항

가. 책명은 이탤릭체로 할 것

McMillan, J.H.(2001). *Classroom assessment: Principles and practice for effective instruction (2nd Ed.)*. Boston: Allyn and Bacon.

나. 논문 제목은 첫 단어만 대문자로 표기하고, 나머지는 모두 소문자로 쓸 것(단행본의 경우도 동일). 단, 정기간행물의 명칭은 각 단어를 대문자로 표기할 것.

Brookhart, S.M., & Freeman, D.J.(1992). Characters of teacher candidates. *Review of Educational Research*, 62(3), 37-55.

Airasian, P.W.(1991). *Classroom assessment*. N. Y: McGraw-Hill.

Gold, N.C.(1981). *Meta-evaluation of selected bilingual education projects*. Unpublished doctoral dissertation. University of Massachusetts.

다. 여러 사람이 쓴 글을 편집하여 펴낸 책에서 한 논문을 참고하였을 때는 아래의 방식을 따라 표기할 것.

Wells, A.S.(1996). African-American students' view of school choice. In Fuller, B., Elmore, R. & Orfield, G.(eds.), Who chooses? *Who loses? Culture, institutions, and the unequal effects of school choice*. New York: Teachers College Press.

라. 번역서 혹은 편역서의 경우 원저자명 뒤에 본문에서 인용한 번역서의 출판 연도를 괄호 안에 제시하고 번역서명을 적을 것. 원전의 제목을 알고 있는 경우에는 대괄호를 이용하여 원전의 제목을 표기하고 이어서 괄호로 묶어 역자명을 적고 "역 혹은 편역"으로 번역서임을 표시하고 마침표를 할 것. 그리고 번역서의 출판지와 출판사를 적고, 그 뒤에 원전의 출판 연도를 괄호를 묶어 제시할 것. 그러나 본문에서는 괄호 안에 원저자명을 적고 원전의 출판연도와 번역서의 출판 연도를 빗금(/)으로 구분하여 나란히 표기할 것[예: Bowles, S. & H. Gintis(1976/1986)].

Bowles, S. & Gintis, H.(1986). **자본주의와 학교교육**[*Schooling in capitalist America: Educational reform and the contradictions of economic life*]. (이규환 역). 서울: 사계절. (원전은 1976에 출판)

③ 영문 외 참고문헌은 해당 국어와 영문을 병기한다. 한글 참고문헌도 아래와 같이 한글과 영문을 병기한다.

가. 단행본의 경우

오욱환(2005). **교사전문성**. 서울: 교육과학사.

(Translated in English) Oh, W.H.(2005). *Teacher professionalism*. Seoul: Educational Science.

나. 정기간행물 속의 논문의 경우(반드시 해당 페이지를 밝힐 것)

김경근(2008). 한국사회의 대안교육 수요 결정요인. **한국교육학연구**, 14(1), 45-69.

(Translated in English) Kim, K.K.(2008). Determinants of demand for alternative education in Korea. *The Korea Educational Review*, 14(1), 45-69.

다. 학위 논문의 경우

김정숙(2006). 여자 대학생의 직업인식과 직업선택 과정. 박사학위논문. 고려대학교.

(Translated in English) Kim, J.S.(2006). Occupational perceptions and choices of female college students. Unpublished doctoral dissertation. Korea University.

라. 인터넷 자료를 인용한 경우

이종재(2003). 교육행정시스템 혁신의 방향. http://www.kedi.re.kr에서 2003. 08. 26 인출.

(Translated in English) Lee, C.J.(2003). Directions of innovation on educational administration system. Retrieved August 26, 2003, from http://www.kedi.re.kr

마. 신문기사 자료

○○신문(2008. 10. 22). '학생 자살' 예방교육 실시. 4면.

(Translated in English) Teachers advised on teen suicide(October 22, 2008). ○○ Newspaper, P. 4.

④ 영어논문 작성 양식

영어논문의 작성 양식은 the Publication Manual of the American Psychological Association(the 5th edition)에 따른다. 논문 분량은 A4 20면 내외로 하며, 초록은 100-200단어로 작성한다.

⑤ 기타 내용은 최신 APA 방식의 참고 문헌 표시에 준한다.

**제 8 조(저작권)**

① 게재가 확정된 논문의 대표저자는 저작권 양도 동의서를 제출하여 논문에 대한 저작권을 제주대학교에 양도하여야 한다.

② 저작권 양도 동의서는 최종 수정본 제출시 온라인, 팩스, 또는 우편으로 제출한다.

**제 9 조(논문게재료 및 심사료)**

① 일반 논문은 편당 20만원, 연구지원비를 받아 수행된 논문은 교내 연구비일 경우와 교외 연구비일 경우 각각 편당 30만원과 40만원의 게재료를 납부하여야 한다.

② 원고 분량이 20면을 초과하는 경우 인쇄 면당 1만원을 추가 게재료를 납부하여야 하며 최대 25면을 초과할 수 없다.

③ 별쇄본은 20부를 제공하며, 추가되는 별쇄본에 대해서는 별도의 인쇄실비를 납부하여야 한다.

④ 칼라인쇄비는 실비를 추가로 납부하여야 한다.

⑤ 게재 확정된 논문의 경우 편당 9만원의 심사료를 납부하여야 한다.

⑥ 학술지 발간에 관한 지원이 있는 경우 편집위원회의 결정으로 논문게재료 및 심사료를 지급하거나 면제할 수 있다.

**제10조(원고 형식과 편집 용지)**

① 원고 형식

| 구분 | | 제목 | 본문 | 이름 | 장 | 절 | 인용문 | 각주 | 참고문헌 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 문단모양 | 왼쪽여백 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 0 |
| | 오른쪽 여백 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| | 들여쓰기 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | -3 | 0 |
| | 줄 간격 | 170 | 170 | 170 | 170 | 170 | 170 | 140 | 170 |
| | 정렬방식 | 가운데 | 혼합 | 오른쪽 | 가운데 | 혼합 | 혼합 | 혼합 | 혼합 |
| 글자모양 | 글꼴 | 신명 | 신명 | 신명 | 신명 | 신명 | 신명 | 신명 | 신명 |
| | 크기 | 18 | 10.5 | 13 | 15 | 12 | 9 | 9 | 10.5 |
| | 장평 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 |
| | 자간 | -5 | -5 | -5 | -5 | -5 | -5 | -5 | -5 |

② 편집 용지와 여백

가. 편집 용지: A4 배국판 210×297, 일단 구성

나. 편집 여백

| 위 | 아래 | 왼쪽 | 오른쪽 | 머리말 |
|---|---|---|---|---|
| 18 | 25 | 25 | 25 | 12 |

**부칙**

1. 이 규정은 2010년 3월 1일부터 시행한다.
2. 이 규정에서 정하지 않은 논문 투고에 관한 사항은 편집위원회에서 결정한다.

# 교육과학연구(구「교육과학연구 백록논총」) 연구윤리 규정

**제 1 조(목적)** 본 규정은 제주대학교 교육과학연구소에서 간행하는 학술지인 교육과학연구(구 교육과학연구 백록논총)에 게재되는 논문의 진실성과 연구윤리를 확보하는 데 그 목적이 있다.

**제 2 조(책임저자와 공저자의 연구윤리)**

① 『교육과학연구』에 논문을 게재하는 모든 저자는 작의적인 의도로 연구내용과 결과를 위조, 변조, 누락, 추가해서는 안된다.

② 『교육과학연구』에 게재되는 논문은 표절행위, 부당한 논문저자 표시 행위, 중복게재 행위를 해서는 안된다.

**제 3 조(연구윤리위원회)**

① 연구윤리 위반 행위에 관한 사항을 심의·의결하기 위하여 연구윤리위원회를 둔다.

② 연구윤리위원회는 연구소 소장, 운영위원, 간사, 편집위원장을 포함하여 9인 이내의 위원으로 구성한다.

③ 연구윤리위원회의 위원장은 소장이 한다.

④ 연구윤리위원회는 소장이 필요하다고 인정할 경우에 소집한다.

⑤ 연구윤리 업무의 효율성을 위하여 심의·의결 업무를 초등윤리위원회와 중등윤리위원회로 나누어 진행할 수 있다. 초등윤리위원회의 소장은 초등교육연구소장이, 중등윤리위원회의 위원장은 교육과학연구소장이 맡는다.

**제 4 조(연구부정행위의 판정)**

① 연구윤리위원회는 『교육과학연구』에 게재된 논문의 연구내용·결과의 위조, 변조, 누락, 추가와 표절행위, 부당한 논문저자 표시 행위, 중복게재 행위를 판정한다.

② 연구윤리위원회는 재적위원 3분의 2이상의 출석으로 성립하고 출석위원 과반수의 찬성으로 의결한다.

③ 연구윤리위원회의 심의, 의결 내용과 그 사유를 연구부정행위자에게 통보한다.

**제 5 조(소명기회 보장)**

① 연구윤리위원회는 심의에 앞서 연구부정행위자에게 소명 기회를 준다.

**제 6 조(이의제기 보장과 논문의 철회)**

① 연구부정행위로 판정된 논문의 저자는 연구윤리위원회의 판정이 부당하다고 판단 한 경우에 이의를 제기할 수 있다.

② 연구윤리위원회는 이의제기의 타당성을 심의한 결과를 이의제기를 모든 저자에게 통보한다.

③ 연구부정행위로 판정된 논문은 『교육과학연구』 게재를 취소하고, 이 사실을 학술지와 홈페이

지에 공고한다.

④ 연구부정행위로 판정된 논문의 저자는 소속기관에 통보한다.

**제 7 조(비밀유지 의무)**

① 위원은 심의과정에 취득한 정보에 대해서 비밀을 유지하고, 취득한 정보를 이용하여 이익을 얻는데 사용하지 않는다.

**제 8 조(기타)**

① 본 규정에서 정하지 않은 내용은 제주대학교 연구윤리위원회 규정과 제주대학교 교육 과학연구소 연구윤리지침 및 초등교육연구소 연구윤리 지침을 적용한다.

**제 9 조(시행일자)**

① 본 규정은 2010년 1월 1일부터 시행한다.