

초중등학생 대상 알고리즘 교육을 위한 분류체계 모형 설계

이영호 · 구덕회

서울교육대학교 컴퓨터교육과

요 약

본 연구의 목적은 초중등학생 대상 알고리즘 교육을 위한 알고리즘 분류체계를 제안하는 것이다. 연구자는 알고리즘의 구성요소를 정의하고, 분석합성식 방법으로 알고리즘 분류체계를 표현하였다. 연구의 내용은 다음과 같다. 첫째, 분류의 목적과 분류의 종류에 대한 이론적인 탐색을 실시하였다. 둘째, 기존에 제안된 알고리즘 내용에 대한 분류체계의 내용과 그 한계에 대해 살펴보았다. 이와 더불어 알고리즘 교육 연구에서 사용되었던 알고리즘 교육 내용 및 선정 기준에 대해 살펴보았다. 셋째, 알고리즘의 분류를 위해 알고리즘 구성요소를 NRC에서 제시한 핵심 아이디어와 관통 개념을 사용하여 재정의하였다. 그리고 알고리즘 관통 개념을 디자인 구조와 자료구조로 세분화하여 그 내용을 제시하였으며, 이 내용을 분석합성식 분류체계를 사용하여 표현하였다. 마지막으로 전문가 집단의 검토를 통해 제안한 내용에 대한 타당도를 검증하였다. 알고리즘 분류체계에 대한 연구는 알고리즘 교육에 있어 내용 선정 및 교육 방법에 많은 시사점을 제공할 것으로 기대한다.

키워드 : 알고리즘 교육, 알고리즘 구성 요소, 알고리즘 분류체계, 알고리즘 관통 개념, 분석합성식 분류

Classification System Model Design for Algorithm Education for Elementary and Secondary Students

Young-ho Lee, Duk-hoi Koo

Department of Computer Education, Seoul National University of Education

ABSTRACT

The purpose of this study is to propose algorithm classification system for algorithm education for Elementary and Secondary Students. We defines the components of the algorithm and expresses the algorithm classification system by the analysis synthesis method. The contents of the study are as follows. First, we conducted a theoretical search on the classification purpose and classification. Second, the contents and limitations of the classification system for the proposed algorithm contents were examined. In addition, we examined the contents and selection criteria of algorithms used in algorithm education research. Third, the algorithm components were re-defined using the core idea and crosscutting concept proposed by the NRC. And the crosscutting concept of algorithm is subdivided into algorithm data structure and algorithm design strategy, and its contents are presented using analytic synthesis classification scheme. Finally, the validity of the proposed contents was verified by the review of the expert group. It is expected that the study on the algorithm classification system will provide many implications for the contents selection and training method in the algorithm education.

Keywords : algorithm education, algorithm components, algorithm classification scheme, algorithm penetration concept, analysis synthesis classification

교신저자 : 구덕회 (서울교육대학교 컴퓨터교육과)

논문투고 : 2017-04-07

논문심사 : 2017-04-20

심사완료 : 2017-04-27

1. 서론

제4차 산업혁명이 전 세계적으로 새로운 화두로 떠오르면서, 그 중심인 소프트웨어가 새롭게 주목받고 있다. 이러한 소프트웨어가 사회에 미치는 파급력은 세계 각국의 교육과정 변화로 이어지고 있다[20]. 변화된 교육과정의 주된 목표는 학생들의 컴퓨팅 사고를 향상시켜 새로운 사회에서의 적응력을 높이고 그 사회를 선도할 수 있는 인재를 양성하고자 함이다. 이를 위해서는 기존의 소프트웨어 활용 교육에서 더 나아가 소프트웨어의 핵심에 도달할 수 있는 교육이 필요하다. 다양한 컴퓨터 과학 분야 중에서도 알고리즘은 컴퓨터 과학과 소프트웨어 엔지니어링 분야의 기초가 되는 부분이다. 현재 사용되고 있는 소프트웨어 시스템의 성능은 어떤 알고리즘으로 구성되었는지, 그리고 그 알고리즘이 소프트웨어 시스템에 얼마나 적절하고 효과적으로 작동하는지에 달려있기 때문이다 [1]. 컴퓨터 교육에서도 이러한 알고리즘이 중요한 교육 내용으로 자리 잡고 있다. 그리고 여러 연구에서는 알고리즘에 대한 교육은 해결하고자 하는 문제의 고유한 성질뿐만 아니라 프로그래밍 언어, 패러다임, 컴퓨터 하드웨어 등에 독립적인 문제 해결 방법에 대한 통찰을 가져온다고 보고 있다[1]. 컴퓨터 과학 분야에서는 교육으로서 필요한 알고리즘에 대해 그 내용을 제시하였으며, 이는 사실상의 분류체계로 알고리즘 교재 및 교육에 사용되고 있다[4][19]. 알고리즘의 사실상의 분류체계는 다양한 학회 및 학자들의 노력으로 표준화의 단계에 이르렀다. 그럼에도 불구하고 현재 학생들을 대상으로 하는 알고리즘 교육 내용은 bottom-up 방식의 백과사전식 내용의 나열들로 이루어져 있다. 그리고 알고리즘 교육과 관련한 연구에서는 기존 연구에서 선정한 내용 위주의 수업이 이루어지고 있으며, 최근에 들어서야 알고리즘의 분류체계에 따라 학습 내용을 구성하는 연구가 이루어지고 있다 [7][8][9][11][12][15][16][21]. 분류체계에 따른 내용을 통해 학습 내용의 체계성을 높일 수 있다. 하지만 기존 제시된 분류체계로는 개념의 연계나 위계를 나타내는데 문제가 있다. 이에 본 연구에서는 초중등학생 대상 알고리즘 교육을 위한 분류체계 모형 설계를 위해 알고리즘의 구성요소를 살펴보고, 알고리즘을 분류체계 이론에서 제시하는 구조와 표현방법을 사용하여 분류체계 모형을 제시하고자 한다.

2. 이론적 배경 및 선행 연구 고찰

2.1 분류체계 이론

분류는 지식의 구조 단위의 개념과 개념간의 관계, 그리고 범주화를 통해 특정 영역의 지식을 일정한 체계로 구조화하는 의미로 사용된다[18]. 지식을 분류할 때에는 분류체계를 통해 이루어진다. 여기에서 분류체계란 분류의 과정인 동시에 분류의 결과물을 의미한다. 분류체계는 분류군(taxon)들의 집합으로 구성되고, 각 분류군은 하위 분류군으로 구성되며, 최하위 분류군에 분류 대상 개체가 배치된다[10]. 분류체계는 표시 방법에 따른 '방식'과 전체적인 구조를 나타내는 '구조'로 분석할 수 있다.

먼저 분류체계의 방식은 자료의 성질, 적용시점, 기호법, 작성표시 및 구조의 측면으로 구분할 수 있다[5]. 그 중 본 연구에서 주로 사용되는 작성표시와 구조에 의한 분류방식을 살펴보도록 하겠다. 작성표시에 의한 분류 방식에는 열거형 분류와 분석합성식 분류가 있다. 열거형 분류는 모든 지식을 각각의 주제나 형식에 따라 최고의 유개념에서 최저의 개념까지 체계적으로 세분하여 표시한 분류 방식을 의미한다[6]. 이 방식은 주제의 전개 범위가 인위적이어서 결과적으로 개념간의 계층 구조를 표현하는데 무리가 있으며, 모든 주제나 지식을 완전하게 제시할 수 없다는 한계가 존재한다[18]. 반면 분석합성식 분류방식은 주제 또는 지식의 전 분야를 특정한 기준에 근거하여 기본 주제로 세분한 후, 각각의 기본 주제를 합성하여 나타내는 방식이다[2]. 기본 주제로 세분할 때에는 개념을 일정한 특성에 따라 구성요소로 분석하는 페이스 분석(facet analysis)이 사용된다[2][18]. 이러한 분석합성식 분류방식은 지식의 확장에 따른 분류에 대처하기가 용이하다는 장점을 가지고 있다. 다음으로 구조에 의한 분류방식에는 계층구조형 분류와 다차원구조형 분류가 있다. 계층구조(hierarchical structure)란 구분 원리의 순서에 입각하여 순차적, 단계적으로 전개한 구조로 분류체계의 작성이나 활용이 간단하다는 장점이 있으나 다양한 개념을 표시하기 힘들다는 단점이 있다[6]. 또한 이러한 계층구조형 분류는 학제적인 영역을 구분해주지만 두 개 이상의 영역이 결합하는 경우에는 표시할 수 있는 방법이 없다는 단점을 가지고

있다. 이와 달리 다차원구조(multi-dimensional structure)는 각각의 구분원리가 독립적으로 적용되는 구조를 의미하며, 이러한 특징이 강한 분류를 다차원구조형 분류라고 한다[6].

다음으로 분류체계의 구조는 수직구조, 수평구조, 연계구조로 살펴볼 수 있다. 먼저 수직구조는 분류의 계층구조로 대분야-중분야-소분야-세분야 와 같은 수직적인 계층구조로 구분된다. 반면 수평구조는 같은 계층에 분포하는 항목들 간의 구조를 의미한다. 수평구조는 타 학문 영역과의 융복합적인 지식 활동 추세에 크게 기인하고 있다[5]. 연계구조는 분류체계에 개체를 배정할 때 개체와 개체간의 연계성이 고려되어야 하고, 또는 특정 개체가 복수의 범주에 포함될 때를 고려할 필요가 있어 등장하게 되었다[18]. 이러한 분류체계의 연계구조는 분석합성식 분류 방식과 다차원구조형 분류 방식에서 사용된다[2][18]. 이 구조에서는 특정 분류군이 다른 범주에서 어떤 위치에 있는지를 파악할 수 있으며, 특정한 범주에 속해있는 모든 영역이나 개념들도 동시에 파악할 수 있다. 기존의 수직, 수평 구조에서는 개념과 개념, 분야와 분야, 개념과 분야의 연계를 형성하는데 어려움이 있었으나 연계 구조를 사용하여 이러한 한계를 극복하고 있다[5].

2.2 기존 알고리즘 분류체계 분석

2.2.1 Computer Science Curricular 2013

Computer Science Curricular 2013은 ACM(Association for Computing Machinery)에서 발간한 컴퓨터 과학과의 학부생 과정 커리큘럼 가이드이다. 이 가이드는 컴퓨터 과학 분야에서 폭발적으로 늘어나고 있는 연구 주제와 교육과의 관련성을 언급하고, 학사 과정 이상에서 기본적으로 다루어야 하는 부분을 언급함으로써 각 대학의 커리큘럼 제작에 대한 지침을 제공하기 위한 목적으로 제작되었다[1]. 본 가이드에는 컴퓨터 과학 분야의 지식 체계(Body of Knowledge)를 18개의 대분류로 제시하였다. 이 대분류에는 알고리즘과 복잡도, 운영체제, 프로그래밍 언어 등이 포함되어 있다. 특히 알고리즘과 복잡도 부분에는 총 7개의 중분류가 있으며, 각각의 분류에는 5개에서 14개 정도의 소분류로 알고리즘을 분류하고 있다.

<Table 1> Computer Science Curricular 2013

Algorithms and Complexity
<p>Basic Analysis Big O, Little o, big Omega, big theta notation, Complexity classes : constant, logarithmic, linear, quadratic, exponential, Time and space trade-offs, Analysis of iterative and recursive algorithms, Master Theorem</p>
<p>Algorithmic Strategies Brute-force algorithms, Greedy algorithms, Divide and conquer, Recursive backtracking, Dynamic Programming, Branch and bound, Heuristic, Reduction : transform and conquer</p>
<p>Fundamental Data Structures and Algorithms simple numerical algorithms, sequential and binary search algorithms, selection, insertion, quick sort, heapsort, mergesort, hash table, binary search tree, graphs and graph algorithms, heap, patten matching and string/text algorithms</p>
<p>Basic Automata, Computability and Complexity finite-state machines, regular expression, the halting problem, context-free grammars, introduction to the P-NP classes and the P-NP problem, introduction to the NP-complete class and exemplary NP-complete problems</p>
<p>Advanced Computational Complexity review of the classes P and NP, polynomial hierarchy, NP-completeness, classic NP-complete problems, reduction techniques</p>
<p>Advanced Automata Theory and Computability sets and languages, context-free language, turing machines, or an equivalent formal model of universal computation, nondeterministic Turing machines, Chomsky hierarchy, The Church-Turing thesis, Computability, Rice's Theorem, Examples of uncomputable functions, Implications of uncomputability</p>
<p>Advanced Data Structure, Algorithms, and Analysis Balanced tree, Graphs, advanced data structure, string-based data structures and algorithms, network flow, Linear Programming, number-theoretic algorithms, Geometric algorithms, Randomized algorithms, stochastic algorithms, approximation algorithms, amortized analysis, probabilistic analysis, online algorithms and competitive analysis</p>

본 가이드의 분류체계 분석을 위해 분류체계 방식을 살펴보면, 알고리즘과 복잡도라는 대분류 아래, 자료의 성질에 따라 기본 분석, 알고리즘 전략, 기초 자료구조 알고리즘, 기초 오토마타와 계산 복잡도, 고급 계산 복잡도, 고급 자료구조와 알고리즘, 분석의 총 7개 영역으로 나누어 소분류에서 다시 나누는 식의 하향식 분류방

식을 채택하고 있다.

자료의 작성 표시 방식을 살펴보면, 각각의 주제를 분야에 따라 세분하여 표시하는 열거식 분류 방식을 채택하였다. 자료의 구조에 따른 방식으로 각 주제를 순차적으로 그리고 단계적으로 전개하는 계층구조형 분류방식을 선택하였다. 분류체계 구조를 살펴보면 알고리즘과 복잡도-알고리즘 설계-동적 프로그래밍과 같은 대-중-소분류인 3개 층의 수직 구조를 가지고 있다. 알고리즘 부분의 분류군 분석은 다음과 같다. 대부분인 알고리즘과 복잡도 항목을 7개의 중분류로 나타내고 있다. 이는 알고리즘 학습요소의 이질성과 학습의 난이도에 따라서 분류한 것이라 볼 수 있다. 그러나 소분류에 있어서는 분류체계의 분류군은 다른 요인들에 의해 분류의 영향을 받아서는 안되는 안정성(stableness) 측면에서 판단이 어려운 측면이 존재한다[17]. 예를 들어 정렬 알고리즘 중 병합정렬은 자료구조적인 측면에서는 '기본 자료 구조'의 소분류에 속해있지만 이 알고리즘의 설계 방식은 '알고리즘적 전략'의 소분류인 '분할 정복'에 해당한다. 이와 같이 어떤 관점에서 알고리즘을 바라보는가에 따라 그 분류방식이 달라질 수 있기 때문에 분류군의 안정성이 부족하다고 볼 수 있다.

2.2.2 문교식(2007)에 의한 분류

문교식은 알고리즘을 개념적 알고리즘, 자료 구조적 알고리즘, 필수 알고리즘으로 분류하였다[4]. 먼저 개념적 알고리즘을 문제 해결을 위한 전략으로서 가시적이지는 않지만 문제 해결 과정에 자연스럽게 융합되어 문제 해결 방향을 안내하는 원리로서의 역할을 한다고 정의하였다. 다음으로 자료 구조적 알고리즘은 문제 해결을 위한 자료 구조에 대한 알고리즘으로 알고리즘을 표현하는 역할을 한다고 정의하였다. 마지막으로 필수 알고리즘은 전통적인 알고리즘 영역으로 다양한 분야의 문제 해결에 활용도가 높은 영역이라고 정의하였다.

그는 자료의 성질에 따라 알고리즘을 3개 대영역으로 나누었으며, 각 영역에서 다시 나누는 방식의 하향식 분류방식을 사용하였다. 그리고 자료 구조적 알고리즘을 배열, 리스트, 스택, 큐 등과 같이 각 내용을 대영역에 따라 세분하여 제시하는 열거식 분류방식과 단계적으로 전개하는 계층구조형 분류방식을 사용하였다. 분류체계

구조는 대영역-중영역의 2개 층의 수직구조로 나타내었다. 개념적 알고리즘의 하위 영역은 자료구조적 알고리즘의 하위 영역을 기반으로 한다. 그리고 필수 알고리즘은 개념적 알고리즘과 자료구조적 알고리즘을 기반으로 구성되며 설계된다. 김태수(2000)는 특정 개념과 다른 개념과의 모든 관계를 고려하면 하나의 관계로는 불충분할 수 있으므로, 개체와 개체간의 연계성 혹은 특정 개체가 복수의 범주에 포함될 때는 분류체계에 배정할 때 다른 속성들을 고려할 필요가 있다고 보았다[18]. 이러한 측면에서 같은 계층에 분포되는 항목들 간의 구조를 말하는 분류체계의 구조적 측면에서 바라볼 때, 항목 간 연계구조에 대한 의미 있는 고찰이 필요하다.

<Table 2> Algorithm Classification By Moon, Kyo-sik

<p>Conceptual algorithm</p>	<p>Iteration - number summation, maximum value, two matrix multiplication Greedy - selective sorting, minimum cost height tree, shortest path problem Recursive - Fibonacci, Euclid GCD Divide and Conquer - Merge Sort, Quick Sort, Binary Search, Strassen Matrix Product, Hanoi Tower Dynamic Programming - Fibonacci, Matrix Chain, Backpack Problem, Shortest Distance Problem, Salesperson Problem Backtracking - N-queen, graph coloring, Sum of subsets</p>
<p>Data Structural Algorithm</p>	<p>Array, List, Stack, Queue, Tree, Graph</p>
<p>Essential Algorithm</p>	<p>Sort, Search, Shortest path, String search, Finite state, Optimization algorithm</p>

분류체계가 완벽히 구성된 상태라면 대상개체의 주요 특징이 실제로 변하지 않는 이상 재배치가 이루어져서는 안되지만, 본 분류체계를 통해 알고리즘을 분류할 때 특정한 알고리즘의 영역을 배치하는데 있어 안정성의 한계가 있다. 예를 들어 프림 알고리즘(Prim's algorithm)을 배치하는 데에는 개념적 알고리즘의 탐욕, 자료구조적 알고리즘의 큐, 그래프, 필수 알고리즘의 최단 경로 부분에 각각 배치할 수 있다는 문제점이 발생한다.

2.3 알고리즘 교육 관련 연구 분석

<Table 3> Algorithm education precedent research

연구자	연구대상	교육내용
Choi, J (2015)	Gifted (M)	Basic sorting - insertion, selection, bubble Advanced sorting - merge, quick, heap Binary tree, B tree Breadth-first, Depth-first Minimum spanning tree (Kruskal, Prim) Topological sorting Shortest path (Daikstra, Bellmanford) Primitive matching algorithm Matching using automata
Kim, H (2011)	5, 6 G	Data structure Binary, Stack, Queue, Tree, Graph algorithm Sorting, Search, Greedy, Divide and conquer, Back Tracking
Kim, J (2010)	6G	Flowchart Branch / Repeat Binary scale Binary / Hashing search Select / Insert Sorting
Ahn, Y (2010)	5G	Dynamic programming Greedy
Hwang, I (2009)	4G	Search algorithms - linear, binary, hashing Sorting Algorithm - Selection, Quick, Sorting Network Graph algorithms - minimum extension tree, routing and deadlock
Baek, S (2008)	5G	Flowchart Sort Search - Sequential / Binary / Hashing
Kim, S (2008)	Gifted (E)	Flowchart Sort - Select, Bubble, Insert Search - Linear, bisection Recursive - Fibonacci, Euclid GCD Data structure - stack, queue, list
Lee, K (2006)	6G	Sort - Select, Insert, Bubble, Divide (Quick, Merge) Search - Sequential, binary Greedy Back Tracking Graph - minimum cost height, shortest distance

기존 초중등학생을 대상으로 한 알고리즘 교육 연구에서 교육 내용 분석 결과는 <Table 3>과 같다. 대부분

의 연구에서는 공통적으로 정렬, 탐색 알고리즘 교육 내용으로 선정하였다. 그리고 선정의 기준으로 학생들의 인지 발달 수준에 적합한 구체적 조작활동이 가능하고, 쉽고 재미있는 놀이를 적용할 수 있어야 한다고 하였다. 이러한 연구 내용의 선정 기준을 조금 더 깊이 살펴보면 이기철(2006)이 연구에서 제시한 선정 기준과 대동소이한 것을 볼 수 있다. 이기철은 그의 연구에서 학생들에게 가르칠 알고리즘의 내용을 알고리즘 관련 서적, 강좌, 학회에서 제시하고 있는 내용의 공통적인 요소에서 추출하였다[12]. 그리고 교육 내용을 선정할 때에는 언플러그드 학습이 가능한 내용을 중심으로 선정하였다. 그 결과 선정된 교육 내용은 스택과 큐와 같은 자료구조, 정렬, 탐색과 같은 자료구조 알고리즘과, 그리디 방법과 같은 설계 기법이 혼용되어 제시되었으며, 이러한 내용은 학습의 위계가 잘 고려되지 않는 문제점이 있다. 이와는 달리 최정원(2015)은 컴퓨터 과학의 개념과 원리를 바탕으로 문교식의 분류에 따라 알고리즘 학습 내용을 제시하였으며, 알고리즘의 위계에 우선하여 내용을 배치하였다[11]. 이 연구는 기존의 연구와 달리 알고리즘의 분류에 따라, 그리고 알고리즘 학습 위계를 고려하여 내용을 제시하였다는 의의가 있지만, 분류의 안정성에 대한 한계점이 존재한다.

3. 알고리즘 분류체계 모형 설계

3.1 알고리즘 분류체계 원칙 설정

본 장에서는 앞 절에서 살펴본 이론적 배경과 기존 알고리즘 분야의 분류 현황과 분석을 토대로 기존 분류의 한계점을 보완하고자 알고리즘 교육을 위한 분류체계 모형을 제안한다. 연구에서 제시하는 알고리즘 분류체계 모형에서 다루는 알고리즘은 현재 생성된 모든 알고리즘의 정보와 지식을 의미하지는 않는다. 알고리즘은 그 목적에 따라 다양하게 재생산 될 수 있기 때문에, 재생산의 기초 역할을 하는 알고리즘을 사상(mapping) 할 수 있는 분류체계의 모형을 제안하였다.

본 연구의 알고리즘 분류체계 모형은 기존의 모든 지식을 포괄하는 방식이 아닌, 알고리즘 분류를 통해 기존의 알고리즘을 이해하고, 새로운 알고리즘을 개발할 수

있는 인지적 구조의 정립을 의미한다. 이에 학생들이 배우고 익히는 알고리즘은 완성된 결과물이 아닌 발전 과정의 일부라고 볼 수 있다. 따라서 교육을 위한 알고리즘의 분류를 위해서는 알고리즘이 생성되는 과정과 그 구성요소에 대한 체계적인 분석이 이루어질 수 있어야 한다.

문제를 효과적으로 해결하기 위해 만들어진 알고리즘은 특정한 자료구조와 설계 방법 등을 사용하여 생성된다. 대부분의 알고리즘은 하나의 자료구조와 하나의 설계 방식으로 작성되기보다 다양한 자료구조와 설계 방법, 그리고 알고리즘의 핵심적이 아이디어가 복합되어 만들어진다. 기존의 알고리즘 분류는 평면적, 순차적으로 전개하는 계층구조 상에서의 분류가 이루어졌다. 이는 이전에 자리를 잡은 영역을 하나의 상위 범주로 지정하여, 새롭게 제시되는 알고리즘을 하위 분류군으로 배치하는 방식으로 분류가 이루어져 적절한 분류가 이루어질 수 없다는 문제가 발생할 수 있다. 또한 기존의 열거형 분류방식은 알고리즘을 특정 주제로 제한하여 분류해야 하기 때문에 여러 주제 혹은 그 구성요소를 복합적으로 포함하는 특징을 가진 알고리즘을 분류하기에는 한계가 있다.

그러므로 알고리즘에 대한 이해 및 창의적인 알고리즘 생성을 목표로 가진 교육에서 사용할 알고리즘의 분류체계를 위해 본 연구에서는 이러한 한계점을 보완하고자 알고리즘의 구성요소간의 연계를 나타낼 수 있는 분류 방식을 도입하고자 한다.

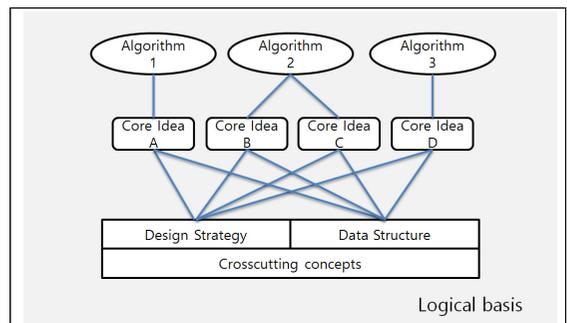
3.2 알고리즘 분류체계 모형 기본 구조

3.2.1 알고리즘 구성 요소

효과적인 분류를 위해서는 지식 자체의 성질과 구조에 대한 이해가 선행되어야 한다. 이러한 지식이란 지속적으로 분화되면서 동시에 통합되는 대단히 역동적인 연속체이다[18]. 어떤 지식영역이나 개념도 서로 관련을 지니고 있다. 이러한 측면에서 본 연구에서는 알고리즘의 구성요소를 알고리즘 관통 개념(Crosscutting concepts)과 알고리즘 핵심 아이디어(Core Idea)로 보았다. 관통 개념과 핵심 아이디어는 미국 국립연구평의회(NRC)에서 유치중등 과학 교육의 표준을 만들기 위한

연구에서 제시된 개념이다[14]. 이 연구에서는 과학의 각 학문 분야에 대한 심도 있는 이해를 위해 각 주제에 대한 핵심 아이디어를 추출하고, 주제에 대한 이해를 위해 공통적으로 사용되는 관통 개념을 적용하는 방향으로 차세대 과학교육의 방향을 제시하였다.

본 연구에서는 NRC에서 제시한 관통 개념과 핵심 아이디어의 유기적인 연결을 통한 교육 내용 조직 방법을 바탕으로 알고리즘 교육에서의 관통 개념과 핵심 아이디어를 이 내용은 (Fig. 1)과 같이 나타내고, 재정의하였다.



(Fig.1) Algorithm Configuration

알고리즘 관통 개념(Crosscutting Concepts)이란 알고리즘의 모든 분야에 걸쳐 응용 가능성이 있는 개념으로 알고리즘의 핵심 아이디어를 연결하는 통로를 제공한다. 또한 관통 개념은 새로운 알고리즘을 습득하는 조직적인 구조를 제시한다.

알고리즘 핵심 아이디어(Core Idea)는 알고리즘의 관통 개념을 토대로 새로운 알고리즘을 생성하거나 이해할 수 있는 통섭적인 지식을 제공한다. 알고리즘의 핵심 아이디어를 통해 알고리즘의 중요한 개념을 심도 있게 탐구할 수 있게 하고, 학생들의 의미 있는 이해를 가능하게 한다. 그리고 실제로 알고리즘의 구현에 참여할 수 있게 한다. 알고리즘 관통 개념은 알고리즘의 핵심 아이디어의 기초 지식을 구성하는 것으로 하나의 핵심 아이디어에는 여러 관통개념이 사용될 수 있다. 알고리즘 핵심 아이디어는 각 알고리즘의 개별적 특성에서 도출할 수 있는 개념으로, 알고리즘 관통 개념을 기초로 알고리즘을 생성할 때 그 알고리즘의 생성 목적에 맞고, 다른 알고리즘과 차별성을 주는 기초적인 부분을 의미한다.

이 외에 알고리즘의 이해에 기본적으로 사용되는 변수, 논리 연산, 함수, 수학적 귀납법 등의 개념은 알고리즘을 이해하는 논리적인 기반(Logical basis)으로 보았다.

3.2.2 알고리즘 관통 개념

알고리즘은 일반적으로 문제를 해결하는 방법을 의미한다. 이는 데이터(자료)와 이에 대한 연산(함수, 메서드)로 표현할 수 있다. 이 때 데이터는 자료 구조로 대응(확장)할 수 있으며 연산은 알고리즘의 설계로 대응(확장)할 수 있다. 이와 같이 알고리즘에서 자료구조와 알고리즘 설계는 불가분의 관계에 있다. 이에 본 연구에서는 관통개념(Crosscutting Concepts)을 디자인 전략(Design Strategy)와 자료 구조(Data Structure)로 구성하였다. 이 두 개념은 ACM의 분류와 문교식의 연구를 기반으로 작성하였으며, 전문가 의견 검토를 거쳐 완성하였다. 알고리즘 관통 개념은 모든 알고리즘에서 사용되는 기본적인 개념으로 구성하였다. 디자인 전략에는 반복, 재귀, 그리디, 분할정복, 백트래킹, 동적프로그래밍으로 구성하였다. 이 외에도 무차별 대입법, 가지치기법, 휴리스틱 등과 같은 설계 기법까지 포함할 수 있다. 자료 구조에는 스택, 큐, 트리, 그래프로 구성하였다. 기존 문교식의 분류에서 제시한 배열과 리스트는 앞에서 제시한 자료 구조를 구성하는 물리적 자료구조에 해당하므로 논리적 자료구조를 나타내는 관통개념의 자료 구조 세분류에서 제외하였다. 또한 자료 구조에는 앞에서 제시한 4가지의 자료 구조 이외에 우선순위 큐, 힙, 피보나치 힙, B-트리, 레드블랙트리, 반엠데보아스트리, 서로소집합 자료구조 등 다양한 자료구조가 존재한다. 본 연구에서는 이러한 자료구조는 기본 자료구조인 스택, 큐, 트리, 그래프를 바탕으로 설계기법을 적용하여 생성된 알고리즘으로 판단하여 관통 개념에서 제외하였다.

<Table 4> Algorithm Multidimensional Structural Classification System Model

Crosscutting concept	
Design Structure	Data Structure
Iteration, Recursion, Greedy, Divide and conquer, Backtracking, Dynamic programming	Stack, Queue, Tree, Graph

기존의 알고리즘 분류체계는 계층구조형 분류 방식으로 구성되어 있어 각 개념의 연결성에 있어 제약이 있었다. 이러한 점을 극복하고자 위에서 제시한 관통 개념을 <Table 4>과 같이 다차원구조형 분류체계 모형으로 나타내었다.

3.2.3 분석합성식 분류

기존의 알고리즘 분류 방식에서는 대영역을 설정하여 하위류로 계속 구분하여 분류하는 열거식 분류를 채택하고 있다. 이 방법은 주제의 전개 범위가 인위적이어서 모든 주제나 지식을 제시할 수 없고 여러 개념을 특정한 주제로만 분류하기 때문에 다양한 개념을 연결하기 어렵다. 이에 본 연구에서는 <Table 5>과 같이 분석합성식 표기 방식을 도입하였다.

<Table 5> Crosscutting concept facet

Category	Sub-concepts	Symbol
Design Strategy facet	Iteration	&IT
	Recursion	&RE
	Greedy	&GR
	Divide & conquer	&DC
	Dynamic programming	&DP
Data Structure facet	Backtracking	&BT
	Stack	:ST
	Queue	:QE
	Tree	:TR
	Graph	:GR

이는 다차원구조형 분류 방식을 실제 표기하는 데 유용하며, 분류체계 이론에서는 이를 패싯 분석(facet analysis)이라고 한다. 패싯은 관점이나 특성에 기초하여 하나의 주제를 하위 개념으로 구분하여 얻은 전체 하위 구분지를 의미한다[18]. 대체로 패싯 기호를 부여하는 여러 방법이나 원리가 있으나 되도록 분류기호에서 개념을 연상할 수 있도록 영문의 약자를 쓰는 경우가 많다. 패싯 분석을 위해 분류체계 모형에서 제시한 내용을 중심으로 분류 기호를 적용하였다.

3.3 알고리즘 분류체계 예시 모형

다차원구조의 분석합성식 분류방식으로 분류작업을

하는 것은 각 알고리즘의 아이디어나 주제를 분류 기호로 변환시킨다는 점에서 열거식 분류와 비슷할 수 있으나, 분석합성식 분류방식은 기호나 문자를 합성한다는 점에서 차이가 있다. 알고리즘을 관통개념(Crosscutting Concepts)과 핵심 아이디어(Core Idea)로 분류한 알고리즘 분류체계 모형을 기반으로 ‘정렬 알고리즘’을 분류한 결과는 <Table 6>과 같다.

<Table 6> Classification Syntax Example of Sort Algorithm

algorithm	Classification symbol synthesis
Insertion sort	CC) &IT
	CI) Insert
Merge sort	CC) &DC
	CI) Merge
Quick sort	CC) &DC
	CI) Partition
Heap sort	CC) :QE :TR
	CI) Priority queue

CR : Crosscutting concepts, CO : Core idea

이러한 다차원구조형 분류를 사용하여 그래프 알고리즘 중 최소신장트리를 만드는 알고리즘의 하나인 크루스칼 알고리즘을 분류하면 관통개념으로 반복, 트리, 그래프의 요소가 포함되며, 핵심 아이디어로는 서로소 집합 자료구조(findset/union)로 나타낼 수 있다.

4. 알고리즘 분류체계 모형 타당도 검증

4.1 검증 방법

<Table 7> Classification Symbol Synthesis of Graph Algorithm

algorithm	Classification symbol synthesis
BFS	CC) &IT :QE :GR
	CI) Adjacent vertex visit
MST	CC) &IT :QE :TR :GR
	CI) Safety edgy
Kruskal's algorithm	CC) &IT :TR :GR
	CI) Disjoint sets data structure, sorting
Prim's algorithm	CC) &IT &GR :QE :TR :GR
	CI) Safety edgy, Priority queue

알고리즘 분류체계 모형에 대한 내용타당도를 검토하기 위하여 전문가의 관점에서, 본 연구에서의 분류 방식의 타당성과 분류의 하위 구성 요소의 적절성, 그리고 연구 내용의 적용 가능성에 대한 검토를 요청하였다. 알고리즘의 구성요소에 대한 분류와 분류방식에 대한 타당성은 델파이 분석을 통해 검증하였다. 델파이 분석은 2017년 3월에 시행하였으며 전문가의 구성은 알고리즘 교육 경험이 있는 컴퓨터 과학과 교수 1명, 컴퓨터 교육과 교수 2명과 컴퓨터 교육 박사 1명, 컴퓨터 과학 박사 1명, 컴퓨터 교육 박사과정 2명, 컴퓨터 교육 석사 4명의 총 11명으로 구성하였다. 전문가 집단의 의견을 수렴하였다. 적절성 정도는 1점(매우 적절하지 않다)~5점(매우 적절하다)까지의 리커트 척도로 평가하였으며, 설문 문항의 내용타당도는 Lawshe(1975)가 제시한 내용타당도 비율(CVR) 공식을 사용하여 분석하였다[13].

$$CVR = \frac{N_e - N/2}{N/2}$$

N : 응답자 수,

N_e : 리커트 척도에서 타당함, 매우타당함 응답 빈도 수

4.2 검증 결과

검증 결과 모든 설문 항목에 대해 CVR값이 0.8 이상인 값으로 제시되어 설문 항목에 대한 내용타당도가 있음을 확인하였다. 먼저 분류체계 모형의 타당성에 대하여 검증하였다. 알고리즘을 핵심 아이디어와 관통 개념의 두 측면으로 구분하는 것이 타당한지에 대한 답변과, 알고리즘 관통 개념의 하위 요소를 알고리즘 디자인 설계와 자료 구조로 구분하는 것이 타당한지에 대한 답변은 <Table 8>과 같으며, 각각 4.73, 4.54점으로 이러한 구분이 타당하다고 보았다.

<Table 8> Analysis of component appropriateness

Item	Content	M	CVR
component	Divided into core ideas and crosscutting concepts.	4.73	1.0
	Separation of crosscutting concepts into algorithm design and data structure	4.54	.81

알고리즘의 관통 개념의 요소 중 알고리즘 자료 구조 요소의 타당성에 대한 답변은 <Table 9>와 같다.

<Table 9> Analysis of data structure element appropriateness

Item	Content	M	CVR
Data Structure Elements	Stack	5.0	1.0
	Queue	5.0	1.0
	Tree	4.90	.81
	Graph	4.90	.81

스택과 큐는 5.0점으로, 트리와 그래프의 경우 4.9점으로 자료 구조 요소로 적절하다고 보았다.

다음으로 알고리즘의 관통 개념의 요소 중 알고리즘 디자인 설계 요소의 타당성에 대한 답변은 <Table 10>과 같다.

<Table 10> Analysis of Design Strategy Elements Appropriateness

Item	Content	M	CVR
Design Strategy Elements	Iteration	4.63	1.0
	Recursion	4.81	1.0
	Greedy	4.63	1.0
	Divide & conquer	4.72	1.0
	Dynamic programming	4.54	.81
	Backtracking	4.54	1.0

본 연구에서 제시한 디자인 설계 요소에 대해서 모든 항목에 대한 타당도 평균 점수가 4.5점 이상으로 도출되었다. 또한 이러한 요소로 충분한지에 대한 질문에는 8명의 연구자가 충분하다고 보았으며, 휴리스틱, 무차별 대입법을 추가할 수 있다는 기타의견이 있었다.

마지막으로 알고리즘을 분석합성식 방법으로 표현하는 것에 대한 타당성은 <Table 11>과 같이 4.54점으로, 분류체계 모형의 효과성 또한 4.54점으로 나타났다. 그리고 이러한 모형이 알고리즘 교육에 적합한지에 대한 답변은 4.63점으로 나타났다.

<Table 11> Analysis of Classification System Model Design

Item	Content	M	CVR
Classification System	Effectiveness of analytic synthesis method	4.54	.81
	Suitability of multi-dimensional structure classification of Crosscutting concepts	4.54	.81
	Educational Effectiveness of Classification Model	4.63	1.0

5. 결론 및 제언

ACM과 IEEE에서는 컴퓨팅 능력의 중요한 부분을 특정한 목적에 맞는 알고리즘을 선택하고 그것을 적용할 수 있으며, 그 문제 해결에 대한 적합한 알고리즘이 없다는 것을 발견하는 것이라고 하였다[1]. 이처럼 알고리즘은 컴퓨팅 능력과 오늘날 소프트웨어 교육에서 중요한 부분을 차지하고 있다.

교육에서는 교육의 방법과 더불어 교육의 내용이 중요한 역할을 한다. 효과적인 알고리즘 교육을 위해서는 알고리즘 교육 내용에 대한 체계적인 분류체계가 필요하다. 본 연구에서는 알고리즘 교육을 위해 알고리즘의 교육 내용과 알고리즘 내용 분류체계에 대한 분석을 실시하였다. 이를 토대로 알고리즘의 구성요소를 알고리즘의 핵심 아이디어와 관통 개념으로 구분하였으며, 관통 개념을 알고리즘 자료 구조와 알고리즘 디자인 설계로 제시하였다. 그리고 이러한 구성요소를 분석합성식 방법으로 분류하는 방법을 적용하였다.

교과 내용에 대한 분류체계의 마련은 지식의 구조를 효과적으로 나타낼 수 있는 방법이다. 본 연구에서 제시한 알고리즘의 분류체계는 교수자 및 학습자가 알고리즘을 바라보는 새로운 시각으로서 틀을 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

- [1] ACM/IEEE-CS Joint Task Force on Computing Curricula. (2013). *ACM/IEEE Computing*

- Curricula 2013 Final Report.*
<https://www.acm.org/education/CS2013-final-report.pdf>.
- [2] Buchanan, B. (1979). Theory of library classification.
- [3] Cormen, T. H. (2009). Introduction to algorithms. MIT press.
- [4] Gyosik Moon (2007). On the Direction of the Computer Algorithm Education Based on Conceptual Algorithms, *Journal of Korean Association of Computer Education*, 11(1).
- [5] Gyuhee Kim (2010). A Study on Information Classification System Model for Design Research. *Yonsei University Graduate School*. Master's Thesis.
- [6] Heeyun Yoon (2005). Information Data Classification. Taeyeon Company.
- [7] Hyunhee Kim (2011). Study on the Development and Application of Play-based Algorithm Learning Program for Improving the Logical Thinking Ability. *Jeju National University Graduate School of Education*. Master's Thesis.
- [8] Incheol Hwang (2009). Effect of the play-centered algorithm learning on the improvement of the logical thinking ability for elementary school students. *Jinju National University of Education Graduate School of Education*. Master's Thesis.
- [9] Jindong Kim (2010). The Effect of Algorithm Learning in Real Life Case on Logical Thinking Ability, *Journal of Korean Association of Computer Education*, 14(4).
- [10] Jongwook Seo (2003). A Study on the Classification System and Utilization Plan of Enterprise Information System Research. *Yonsei University Graduate School*. Master Thesis.
- [11] Jungwon Choi., Youngjun Lee (2015). The impact of puzzle based algorithm learning on problem solving skill of learners. *The Journal of Korean association of computer education*, 18(4).
- [12] Kichul Lee (2006). The Study of Applying Discovery Study for the Elevation of Algorithm Contemplative Faculty. *Gyeongin National University of Education Graduate School of Education*. Master's Thesis.
- [13] Lawshe, C. H. (1975). A quantitative approach to content validity. *Personnel psychology*, 28(4), 563-575.
- [14] National Research Council. (2012). A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas. National Academies Press.
- [15] Sanghoon Kim (2008). Development and application of a algorithm learning web based courseware for the elementary information gifted children. *Graduate School of Education, Korea National University of Education*. Master's Thesis.
- [16] Seonryeon Baek., Jeongbeom Song., Jungho Park., & Taewuk Lee (2008). Development and Application of Algorithm Teaching Materials Centered in Plays for Problem-solving Abilities of Elementary Students. *The Journal of Korean association of computer education*. 11(1).
- [17] Sneath, P. H., & Sokal, R. R. (1973). Numerical taxonomy. The principles and practice of numerical classification.
- [18] Taesoo Kim (2000). Understanding Classification. Seoul: Literature and Information Processing Society.
- [19] Tucker, A. (2003). A Model Curriculum for K-12 Computer Science: Final Report of the ACM K-12 Task Force Curriculum Committee.
- [20] Wohl, B. S., Beck, S., & Blair, L. (2017). The Future of the Computing Curriculum: How the Computing Curriculum Instills Values and Subjectivity in Young People.
- [21] Yeonkyung Ahn (2010). Algorithm design technique learning courseware development for elementary school students. *Korea University Graduate School of Education*. Master's Thesis.

저자소개



이 영 호

2010~현재 서울시 초등교사
2015~현재 서울교육대학교 생활과
학·컴퓨터교육과 박사과정
관심분야 : 인공지능 교육, 소프트
웨어 알고리즘, 컴퓨터 교육
이론

E-mail: yhbest12@naver.com



구 덕 회

2000 한국교원대학교 대학원 박사
2000~2003 한국교육학술정보원
선임연구원
2003~2009 대구교육대학교
컴퓨터교육과 교수
2009~현재 서울교육대학교
컴퓨터교육과 교수
관심분야 : 컴퓨터교육이론, 프로
그래밍 교육, 디지털 콘텐츠

E-mail: dhk@snue.ac.kr