

정보영재학생과 일반학생의 최단경로 탐색 과정 분석

강성웅* · 김갑수**

서울신곡초등학교* · 서울교육대학교**

요 약

본 연구는 PISA 2012 문제해결력 평가 문항 중 이산수학의 그래프 이론이 적용된 'TRAFFIC' 문항을 바탕으로 총 19문항의 최단경로 탐색 검사 도구를 제작했고, 웹기반 컴퓨터 평가로 정보영재학생과 일반학생을 대상으로 실시했다. 컴퓨터는 일상의 문제를 해결하는 과정에서 없어서는 안 될 중요한 기기이자 평가의 기반이 되는 매체로 자리 잡았고, 정보영재학생은 컴퓨터를 통해 문제를 해결할 수 있어야 하고, 컴퓨터가 절차를 수행할 수 있는 분명한 명령을 내려줄 수 있어야 한다. 또한, 컴퓨팅 사고가 어느 분야든 영향을 미치는 시대이기 때문에 학생들에게 새로운 교육적 자극을 줘야 한다. 최단경로 탐색 과정을 통해 문제해결에 걸린 시간과 정답률 간의 상관관계를 찾을 수 있었고, 노드와 엣지의 증가로 문항의 곤란도가 높아짐에 따라 노드가 문제해결에 영향을 크게 미치는 것을 찾을 수 있었다. 또한, 정보영재학생의 문제해결 과정에서 알고리즘적 사고 과정을 볼 수 있었고, 정보영재학생의 인지적 특성인 '효율화 능력'과 '정보구조 기억력'을 확인할 수 있었다.

키워드 : 영재교육, 정보영재, 최단경로 탐색, 알고리즘

An Analysis on Shortest Path Search Process of Gifted Student and Normal Student in Information

Sungwoong Kang* · Kapsu Kim**

Seoul Singok Elementary School* · Seoul National University of Education**

ABSTRACT

This study has produced a checker of the shortest path search problem with a total of 19 questions as a web-based computer evaluation based on the 'TRAFFIC' questions of PISA 2012. It is because the computer has been settled as an indispensable and significant instrument in the process of solving the problems of everyday life and as a media that is underlying in assessment. Therefore, information gifted students should be able to solve the problem using the computer and give clear enough commands to the computer so that it can perform the procedure. In addition, since it is the age that the computational thinking is affecting every sectors, it should give students new educational stimuli. The relationship between the rate of correct answers and the time took to solve the problem through the shortest route search process showed a significant correlation the variable that affected the problem solving as the difficulty of the question rises due to the increase of nodes and edges turned out to be the node than the edge. It was revealed that information gifted students went through algorithmic thinking in the process of solving the shortest route search problem. And It could be confirmed cognitive characteristics of the information gifted students such as 'ability streamlining' and 'information structure memory'.

Keywords : Education for the Gifted, Gifted Student of Information, Shortest Path Search Process, Algorithm

교신저자 : 김갑수(서울교육대학교)

논문투고 : 2016-04-08

논문심사 : 2016-04-08

심사완료 : 2016-04-18

1. 서론

세계적으로 지식 정보화 산업은 그 패러다임이 바뀌고 있다. 단순히 하드웨어 중심에서 소프트웨어 중심으로 시장이 이동했다는 것이 아니다. 얼마나 창의적이고 혁신적인 아이디어를 생각하고 구현해 내느냐에 달려있다. 이러한 창의와 혁신은 정보영재교육에서도 중요하게 강조되고 있다. ‘IT강국’이라는 대한민국이 세계를 이끌어갈 인재를 발굴하기 위해서는 초등학교 단계에서부터 정보영재를 찾아 육성하고, 그들의 꿈과 도전정신을 키워줘야 한다. 또한 모든 분야에서 컴퓨터 과학자적인 사고를 해야 한다고 한다[11].

21세기의 지식 정보화 사회에서는 정보화 시대를 선도해 갈 정보영재의 발굴은 대단히 중요한 일이다. Renzulli는 일반 영재들의 특성을 연구하여 왔고[14], 이를 기반으로 다양한 정보 영재들을 정의하였다.

경제협력개발기구(OECD)의 PISA 2012 문제해결력 평가에서는 일상생활에서 컴퓨터 활용이 날로 증가하고 있는 현실을 반영하여 컴퓨터 기반으로 실시했다.

PISA 2012 문제해결력 평가는 특정한 교과목의 문제가 아닌, 문제를 해결하는 과정에 일반적으로 요구되는 인지적 과정에 초점을 두고 있으며, 컴퓨터 기반의 상호작용 문제를 포함하여 문제를 해결하는 데 필요한 정보를 스스로 수집하는 것도 요구한다[13]. 이러한 컴퓨터 기반의 문제해결력 평가는 정보영재학생들에게 프로그래밍 교육의 필요성을 제시하고 있다. 프로그래밍 교육은 논리적 사고와 알고리즘의 설계, 개발 및 적용을 위해 정보영재가 반드시 배워야 하는 학습과정이다.

따라서 정보영재에게 알고리즘 학습은 프로그래밍을 하기 위해 문제를 해결해 가는 절차나 방법을 논리적으로 탐구함으로써, 문제해결력을 신장시킬 수 있기 때문에 반드시 필요한 학습과정이라 할 수 있다. 본 연구에서는 여러 알고리즘 중에서도 이산수학의 그래프 이론을 활용한 최단거리 탐색 알고리즘을 통해 정보영재학생의 인지적 특성을 찾아보고자 한다.

본 논문의 2장에서는 본 연구와 관련 있는 이론을 설명하고, 3장과 4장에서는 각각 본 연구의 개발 내용과 연구 결과 및 논의를 설명하며, 5장은 본 연구의 결론이다.

2. 이론적 배경

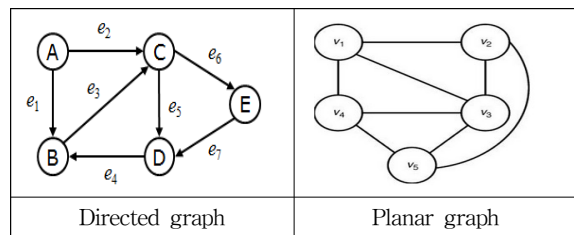
2.1 그래프(Graph)이론

2.1.1 그래프의 기본개념

그래프의 정의는 다음과 같다. ‘그래프 G는 유한개의 꼭짓점의 집합 V와 두 꼭짓점을 원소로 갖는 변의 집합 E로 이루어져 있으며 $G=(V, E)$ 로 나타낸다. 꼭짓점(vertex) u, v를 연결한 선을 변(edge)이라 하고 {u, v}로 나타낸다[1].

그래프 $G=(V, E)$ 에서 모든 연결선 $e \in E$ 가 방향을 가진 그래프를 방향 그래프(directed graph)라고 한다. 변이 서로 교차하지 않도록 그래프 G를 평면에 그릴 수 있으면 G를 평면그래프(planar graph)라고 한다. 변에 지정된 실수를 변의 가중치(weight)라 하고, 각 변에 가중치가 주어진 그래프를 가중그래프(weighted graph)라고 한다.

<Table 1> Directed graph and Planar graph



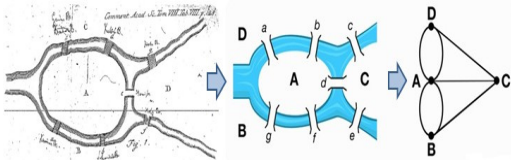
2.1.2 최단경로

가중 그래프에서 꼭짓점 u와 꼭짓점 v를 연결하는 경로에 있는 모든 변의 가중치를 합한 값을 경로의 길이(length)라 하고, u와 v를 연결하는 경로 중에서 경로의 길이가 가장 짧은 경로를 u와 v를 연결하는 최단경로(shortest path)라 한다.

2.1.3 그래프 이론의 교육적 의의

Leonhard Euler(1707-1783)는 그래프의 개념을 최초로 언급했고, 쾨니히스베르크(Königsberg)의 7개의 다리와 관련된 문제를 그래프로 표현하여 해결하였다. 육지인 B와 D를 두 섬인 A와 C를 연결하는 다리가 7개

있는데, 이 다리 들을 한 번씩만 건너면서 출발점으로 돌아올 수 있는지의 문제이다. 즉, 한붓그리기가 가능한 말과 같다. Leonhard Euler가 이것이 불가능하다는 것을 증명했다[3].



(Fig. 1) Königsberg bridges

복잡한 현상의 구조를 단순화하는 그래프 이론은 현재 많은 분야에서 연구가 이루어지고 있고, 최근 소셜 네트워크의 중요한 기반이 되기도 한다[10].

이재호, 이재수(2006)는 초등수학교육과정에서 그래프를 포함한 자료구조와 이산수학적 요소를 바탕으로 개발한 정보영재 선발문항을 적용하여 이산수학적 사고력이 정보영재를 선발하는데 적합함을 보여줬다. 다만, 스택, 트리, 그래프, 선택과 배열, 알고리즘, 의사결정의 최적화 등 영역에 따른 세부 문항수가 충분하지 않아 영재학생을 선발하는 표준화된 도구로 활용하기에는 한계가 있다[7].

2.2 프로그래밍 교육과 알고리즘적 사고

2.2.1 프로그래밍 교육의 필요성

Salomon(1987)은 컴퓨터 프로그래밍 교육을 통해 향상되는 6가지 인지능력으로 수학과 기하학의 개념과 원리, 문제 해결 및 문제 발견과 관리, 형식적인 추론의 능력과 표현, 지식·사고·학습의 모델, 인지 방식, 열정과 인내를 제시했다[15].

김갑수(2010)는 초등학생들의 창의성과 논리성을 키우기 위한 프로그래밍 언어 교수 전략으로 입출력의 원리, 일반화의 원리, 효율성의 원리, 단순화의 원리, 추상화의 원리를 개발하여 제시함으로써 프로그래밍 교육 방법에 있어 기본적인 철학을 제공하였다[6].

전우천(2011)은 정보영재학생의 선발에서 논리적 사고력을 프로그래밍 언어로 대치 할 수 있다고 하였고,

프로그래밍과 논리적 사고를 결합하여 시너지 효과를 발휘할 수 있다고 보았다[4].

최정원, 이은경, 이영준(2013)은 코딩중심의 교육으로 실시하는 영국 컴퓨팅 교과서를 분석, 우리나라의 정보 교육 SW교육 교과서 구성의 방향을 연구했다[2].

2.2.2 알고리즘적 사고

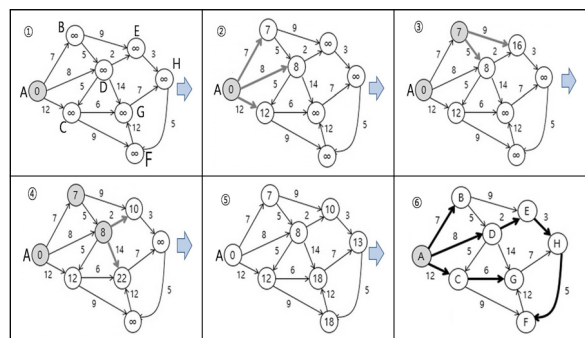
문교식(2007)은 알고리즘의 6가지 유형의 개념적 알고리즘으로 반복, 탐색, 재귀, 분할 정복, 동적 알고리즘, 백트래킹 알고리즘의 순서로 제시했다. 개념적 알고리즘은 학습 순서와 단계에 따른 예를 들어주었으나 실제 적용을 하지 못했다는 한계가 있다[12].

이재호, 오현중(2009)은 알고리즘은 정보과학 전 분야에서 기본이고 필수적이며, 효율적인 알고리즘이 개발되어야 좋은 소프트웨어를 구현할 수 있고, 초등정보 영재를 위해 실제적인 문제를 바탕으로 알고리즘 교육 내용을 개발해야 한다고 했다[8].

이주희, 김갑수(2006)는 알고리즘의 교육적 가치를 고려하여 구체적 조작기에 있는 학생들에게 알고리즘을 만들거나 알고리즘적 사고를 할 수 있는 문제를 제시하고 학생들이 이를 해결하면서 문제 해결에 필요한 논리적 사고력과 창의적 사고력이 향상될 수 있음을 연구했다[9].

2.2.3 다익스트라 알고리즘(Dijkstra Algorithm)

<Table 2> Dijkstra Algorithm



다익스트라 알고리즘은 음수인 가중치 변이 없는 그래프에 적용되며 하나의 출발노드로부터 모든 노드에 이르는 최단경로를 구하는 단일 출발지 문제의 해법을

제시하는 알고리즘이다.

<Table 2>는 다익스트라 알고리즘의 예시로 출발점 A에서 도착점 F까지의 최단경로를 탐색하는 과정이다.

- ① 초기조건으로 출발점 A는 0으로, 다른 노드들은 ∞로 초기화 한다.
- ② 출발점 A에서 인접 노드에 이르는 가중치를 계산하고 이 값들을 임시 저장한다.
- ③ 계산되어 있는 노드 중 가중치의 값이 가장 적은 노드에서부터 인접 노드까지의 거리를 계산해서 임시 저장한다.
- ④ 노드B 다음으로 최단경로인 노드D에서 다시 인접 노드까지의 가중치를 계산하고 임시 저장한다.
- ⑤ 가장 짧은 최단경로에서 다시 같은 과정을 반복한다.
- ⑥ 최종적으로 가중치의 합이 18로 가장 낮은 값의 경로인 A → D → E → H → F가 최단경로가 된다.

2.3 정보영재학생의 인지적 특성

김갑수(2013)는 정보영재아들의 인지적 특성으로 정보 구조 기억력, 규칙화 능력, 추론화 능력, 효율화 능력, 일반화 능력, 구조화 능력, 추상화 능력 등 7가지로 정의했다. 이 중 정보 구조 기억력은 생활 주변에서 볼 수 있는 그림이나 동영상 등에서 정보 요소의 구조를 파악하는 능력이다. 효율화 능력은 문제를 해결함에 있어 가장 간단한 풀이 방법을 생각해 낼 수 있는 효율적으로 생각하는 능력이다. 7가지 정보영재학생의 인지적 인 요소들은 서로 상관관계가 높게 나왔다. 정보영재학생들의 사고의 과정을 명확하게 분류하고 인지적 특성을 정의하기 위해서는 보다 구체적인 교육과정을 개발해서 측정하는 과정이 필요하다[5].

3. 검사도구의 설계 및 적용

3.1 검사도구의 설계

문항의 설계는 다음과 같이 6가지의 규칙을 적용해서 웹기반으로 제작을 하였고, 연구 대상이 컴퓨터를 통해 최단경로 탐색 과정을 수행하였다.

첫째, PISA 2012 ‘TRAFFIC’ 문항은 4지선다형의 문제였으나 운에 의한 정답을 배제하기 위해 제작한 19문항 모두 수행형 문항으로 검사 도구를 설계 했다.

둘째, 엣지(edge)의 길이와 가중치인 이동 시간은 비

례하지 않는다. 즉, 실제 겪을 수 있는 교통 상황을 반영해 도로의 길이가 길고 짧음에 따라 이동에 걸린 시간도 비례하지 않는다는 것이다.

<Table 3> Design of test tools questions

number of node (N)	Calculation method of edge			
	Rule	Calculation number of Data	Calculation number of edge	Item number
5	N×1.25	6.25	6	1
	N×1.5	7.5	8	2
	N×1.75	8.75	9	3
	N×2	10	10	
7	N×1.25	8.75	9	4
	N×1.5	10.5	10	5
	N×1.75	12.25	12	6
	N×2	14	14	7
9	N×1.25	11.25	11	8
	N×1.5	13.5	14	9
	N×1.75	15.75	16	10
	N×2	18	18	11
11	N×1.25	13.75	14	12
	N×1.5	16.5	17	13
	N×1.75	19.25	19	14
	N×2	22	22	15
13	N×1.25	16.25	16	16
	N×1.5	19.5	20	17
	N×1.75	22.75	23	18
	N×2	26	26	19

※ 5node-10edge is excluded because it does not correspond with the condition of the planar graph..

셋째, 각 엣지의 가중치(이동 시간)는 2~10 사이의 수가 랜덤으로 나타나게 프로그래밍 했다. 이는 이전 문제의 학습 효과를 최소화하기 위해서이고, 랜덤으로 수가 주어지기 때문에 출발점에서 도착점까지 경로의 경우의 수가 많아지게 된다.

넷째, 문제해결에 대한 집중도를 높이고, 새로운 변수에 대한 대응을 알아보기 위해 19문항 중 3문항의 도착지를 변경했다. 출발점과 도착지의 표시는 빨간색으로 쉽게 눈에 띄게 제작했다.

셋째, 이동 했던 길로 되돌아 올 수 없다. 최종 이동 시간이 늘어나기 때문이다. 따라서 왕복이 아닌 편도 이동 상황으로 구성했다.

넷째, 엣지들을 클릭할 때마다 해당 경로의 이동시간의 합이 모니터에 표시가 된다. 이는 수 연산력에 따른

개인의 차이를 최소화하기 위해서이다.

다섯째, 19문항 각각 문제를 해결할 때마다 문제를 해결한 시간, 학생들 반응값, 채점한 결과값이 자동으로 DB(Data Base)에 저장이 된다. 이는 정확한 정답유무를 판단할 수 있고, 초 단위로 문제해결에 걸린 시간을 기록함으로써 자료 분석에 객관적인 데이터를 확보하기 위해서이다.

여섯째, <Table 3>과 같이 규칙을 적용해 노드와 변의 산출을 바탕으로 총 19문항을 구성하였다. 노드의 수는 5부터 13까지 노드가 2씩 증가해 총 5가지 노드를 바탕으로, 엣지의 수는 노드의 수(N)에 각각 1.25, 1.5, 1.75, 2를 곱해 소수 첫째 자리에서 반올림해서 산출했다. 5가지 노드에 각각 4가지 엣지가 산출되기 때문에 총 20문항이 가능하지만 5노드 10엣지의 경우 평면그래프의 변이 서로 교차하지 않아야 하는 조건과 맞지 않아 제외해서 총 19문항을 채택했다.

3.2 검사도구의 적용

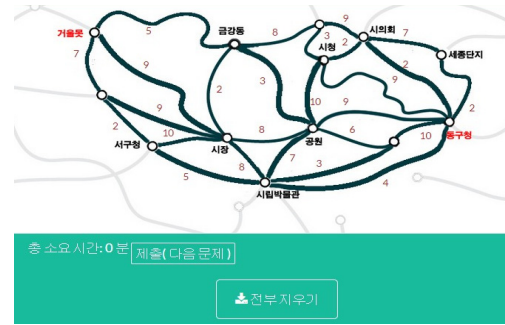
3.2.1 연구 대상

본 연구에서 정보영재학생 41명은 서울교육대학교 과학영재교육원 5, 6학년 학생과 서울강서교육지원청 영재교육원 6학년 학생을 대상으로 하였고, 일반학생 94명은 서울, 경기지역 5, 6학년 학생을 대상으로 실시하였다. 이 중 영재학생 2명, 일반학생 2명의 응답은 각 집단의 정답률 평균에서 3표준편차를 벗어나기 때문에 응답자 제거를 하였다. 따라서 영재학생 39명, 일반학생 92명, 총 131명을 대상으로 진행하였다.

3.2.2 검사도구의 실행

PISA 2012 문제해결력 평가 ‘TRAFFIC’ 문제를 바탕으로 최단경로 탐색 검사 문항을 제작했고, 완성된 검사 도구는 <http://kangteus.cafe24.com/>에 탑재하여 ‘크롬’ 웹 브라우저를 통해 실시했다. (Fig 2)는 검사 문항 19문항 중 마지막 문항인 13노드 26엣지를 적용한 19번의 실행화면이다. 선다형 문항 대신 수행형 문항으로 제작하였고, PISA TRAFFIC 문제와 마찬가지로 엣지를 클릭하면 형광색으로 표시가 되고 ‘총 소요 시간’

에 엣지들의 합이 계산이 되어 표시가 된다. ‘전부 지우기’를 누르면 선택된 엣지들이 모두 초기화 된다. ‘제출(다음문제)’ 버튼을 누르면 경로 값이 자동 저장이 되면서 다음 문항으로 넘어간다.



(Fig. 2) Shortest search path process example item

4. 연구결과 및 논의

4.1 최단경로 탐색문제를 통한 영재학생과 일반학생의 차이 비교

4.1.1 정답률과 문제해결시간 비교

<Table 4> Compare percentage of correct answers and problem solving time

*Gifted student[N=39], Normal student[N=92]

Variables	Group	M	SD	t	p
rate of correct answers(%)	Gifted student	73.4	12.55	4.28	.000***
	Normal student	61.9	17.19		
problem solving time(sec)	Gifted student	546.8	272.85	2.90	.005**
	Normal student	428.6	180.34		

*p<.05, **p<.01, ***p<.001

영재학생의 정답률은 73.4로 측정되었고, 일반학생의 정답률은 61.9로 측정되었다. 이 두 집단의 각각의 정답률 평균 차이에 대한 유의수준이 .000으로 유의한 것으로 판단할 수 있으므로 영재학생과 일반학생의 정답률은 서로 차이가 난다고 판단할 수 있다.

또한, 영재학생의 평균 문제해결시간은 546.8초로 측정되었고, 일반학생의 평균 문제해결시간은 428.6초로 측정되었다. 이 두 집단의 각각의 평균 차이에 대한 유의수준이 .005로 유의한 것으로 판단할 수 있으므로 영재학생과 일반학생의 문제해결시간은 서로 차이가 난다고 판단할 수 있다.

일반적으로 영재학생이 일반학생보다 뛰어나기 때문에 문제해결시간도 덜 걸릴 것이라는 예상을 할 수 있다. 그러나 연구 결과 평균 문제해결시간의 결과에서 일반학생 보다 정보영재학생이 평균 118.2초로 약 2분 정도 시간이 오래 걸렸다. 이러한 결과에 대해서는 '4.1.3 문제해결 시간대별 정답률 분포'에서 자세히 분석해 보았다.

4.1.2 정답률과 문제해결시간의 상관관계

영재학생과 일반학생 모두인 131명을 대상으로 문제해결시간과 정답률 간의 상관관계를 분석했다. 문제해결시간과 정답률은 유의수준 $p < .001$ 에서 .55로 정적 상관을 나타내 이는 문제해결시간이 오래 걸릴수록 정답률이 높다는 것을 의미한다. 다만, 문제해결시간과 정답률이 정확히 비례하지는 않는 점을 '4.1.3 문제해결 시간대별 정답률 분포'에서 분석해 보았다.

4.1.3 문제해결 시간대별 정답률 분포

문제해결시간이 한 없이 오래 걸린다고 해서 정답률이 100%에 근접하지는 않는다. 문제해결시간과 정답률과의 관계를 구체적으로 알아보기 위해 영재학생과 일반학생 각각의 문제해결 시간대별 정답률 분포표를 만들어 분석했다. 영재학생과 일반학생의 정답률, 문제해결시간의 평균과 표준편차를 바탕으로 범위를 정했다.

<Table 5>의 영재학생의 문제해결시간대에 따른 정답률 분포를 보면 정답률이 70~79%대에서 가장 많은 13명(전체 영재학생의 28.21%)이고, 60~89%대에서 31명(전체 영재학생의 79.49%)이 고르게 분포함으로써 표준편차가 12.55로 편차가 크지 않음을 알 수 있다. 정답률이 40% 미만인 경우는 0명이기 때문에 문항에 대한 집중도와 응답도가 높았다는 걸 보여준다. 문제해결시간이 1020초(17분 이상)이상인 학생은 4명이 분포하는

데, 이들은 시간은 오래 걸렸지만 4명 모두 70% 이상의 높은 정답률을 보였다. 문제해결시간에 제한이 없기 때문에 과제에 대해 집중을 했다고 볼 수 있다. 정답률이 80% 이상 학생이 11명인데 이들의 문제해결 시간은 300초에서 1220초 이상까지 시간대별로 고르게 분포한다. 이러한 점을 봤을 때 문제해결 시간이 정답률에 영향을 미치지만 절대적인 영향은 미치지 않는다는 걸 알 수 있다.

<Table 5> Problem solving percent correct chronological distribution of the gifted student

*Gifted student[N=39]

	~29%	30~39%	40~49%	50~59%	60~69%	70~79%	80~89%	90~100%	total
~179"			1						1
180~299"				1	2	1			4
300~419"			2	2	1	1	2	1	9
420~539"					3	4			7
540~659"						3	3		6
660~779"					1	2	2		5
780~899"					1	1			2
900~1019"					1				1
1020"~						1	2	1	4
total		3	3	9	13	9	2	3	39

<Table 6>의 일반학생의 문제해결시간대에 따른 정답률 분포를 보면 정답률이 70~79%대에서 가장 많은 24명(일반학생의 26.09%)이고, 60~89%대에서 55명(일반학생의 59.78%)이 분포함을 볼 수 있다. 영재학생이 60~89%대에서 31명(전체 영재학생의 79.49%) 분포하는 것과 비교하면 19.71% 차이가 난다.

영재학생의 경우 문제해결시간이 1020초 이상인 학생이 4명이고, 이들의 정답률이 70%이상이었지만, 일반학생은 문제해결시간이 1020초 이상인 경우가 한 명도 없었다. 문항에 대한 시간의 제한이 없었음에도 일반학생은 충분히 그 시간을 활용하지 못했다는 것이다.

영재학생 보다 일반학생의 평균 문제해결 시간이 118.24초 적게 걸린다. 이는 문제해결 시간이 179초 이하인 학생이 영재학생은 1명인 데 반해 일반학생은 9명이 분포하기 때문이다. 이 9명의 정답률은 59% 이하이고, 정답률 29% 이하에 문제해결시간 179초 이하인 학생도 3명이 분포한다. 결국 이 9명이 일반학생 전체의 평균 문제해결 시간을 낮추었기 때문에 정보영재학생보다 평균 문제해결 시간이 적게 걸린 것이다.

<Table 6> Problem solving percent correct chronological distribution of the Normal student

*Normal student[N=92]

	~29%	30~39%	40~49%	50~59%	60~69%	70~79%	80~89%	90~100%	total
~179"	3	1	4	1					9
180~299"	1		7	1	3	1			13
300~419"	3		3	6	5	6	3		26
420~539"				3	6	9	2		20
540~659"				2	3	4	4		13
660~779"			1	1	2	3			7
780~899"					1	1	1		3
900~1019"					1				1
1020"~									
total	7	1	15	14	21	24	10		92

4.2 노드와 엣지의 변화에 따른 문제해결시간과 정답률의 차이 분석

4.2.1 노드와 엣지의 변화에 따른 문제해결에 걸린 시간과 정답률 비교

가. 노드가 5일 때

<Table 7> Compared to the node 5

node	edge	Gifted student[N=39]		Normal student[N=92]	
		problem solving time(sec)	rate of correct answers(%)	problem solving time(sec)	rate of correct answers(%)
5	6	63.3	84.6	28.8	78.3
	8	22.8	89.7	21.5	71.7
	9	19.3	92.3	14.6	83.7
M		35.2	88.9	21.6	77.9

노드가 5일 때 엣지의 수가 증가할수록 영재학생이 일반학생 보다 문제해결시간은 더 걸렸으나 문제의 정답률은 11% 높은 것을 알 수 있다. 영재학생은 첫 문제인 6엣지에서 평균 문제해결시간이 63.3으로 일반학생에 비해 34.5초나 더 걸렸다. 영재학생은 첫 문항에서 시간은 다소 오래 걸렸지만 문항의 구조를 정확하게 인식을 했기 때문이다. 따라서 정보영재는 8엣지, 9엣지로 갈수록 정답률이 증가했고, 일반학생에 비해 8엣지에서는 정답률이 18%나 높았다. 일반학생은 8엣지에서 6엣지 보다 정답률이 71.7%로 6.5% 낮아졌다가 9엣지에서 정답률이 83.7%까지 올랐다. 9엣지에서 비로소 문항에 대한 적응을 했기 때문이다.

나. 노드가 7일 때

<Table 8> Compared to the node 7

node	edge	Gifted student[N=39]		Normal student[N=92]	
		problem solving time(sec)	rate of correct answers(%)	problem solving time(sec)	rate of correct answers(%)
7	9	30.1	87.2	22.2	82.6
	10	22.7	87.2	18.4	87.0
	12	24.8	74.4	20.7	71.7
	14	24.3	79.5	21.5	63.0
M		27.0	82.1	21.1	76.1

노드가 7일 때는 노드가 5일 때와 마찬가지로 엣지의 수가 증가할수록 영재학생이 일반학생 보다 문제해결 시간은 5.9초 더 걸렸으나 정답률은 5.9% 높았다.

그런데 노드가 5일 때에 비해 영재학생과 일반학생 모두 정답률이 각각 6.8%, 1.8% 낮아졌다. 문제가 다소 복잡해 졌기 때문에 정답률이 떨어진 것인데, 일반학생의 정답률 감소폭이 적었다. 이는 일반학생의 경우 노드 5에서는 문항에 대한 적응이 늦었기 때문에 정답률이 낮았지만, 노드 7에서는 문항에 대한 적응이 되었기 때문이다. 문제해결에 걸린 시간 역시 노드 5에서와 마찬가지로 영재학생이 일반학생에 비해 평균 5.9초 더 오래 걸렸다. 엣지 10에서 영재학생과 일반학생 모두 평균 문제해결 시간이 짧아진 이유는 엣지 9와 엣지 10일 때는 지도의 모습이 가지적으로 큰 변화가 없기 때문이다. 즉, 엣지가 하나 증가해도 지도의 전체 구조가 크게 바뀌지 않기 때문이다.

다. 노드가 9일 때

노드가 9일 때는 노드가 5, 7일 때와 마찬가지로 영재학생이 일반학생 보다 문제해결시간이 1.8초 더 걸렸으나 정답률은 영재학생이 14.8% 더 높았다.

<Table 9> Compared to the node 9

node	edge	Gifted student[N=39]		Normal student[N=92]	
		problem solving time(sec)	rate of correct answers(%)	problem solving time(sec)	rate of correct answers(%)
9	11	29.6	89.7	28.7	77.2
	14	23.1	79.5	24.2	62.0
	16	22.5	82.1	20.7	62.0
	18	24.2	66.7	18.6	57.6
M		24.8	79.5	23.1	64.7

노드가 7일 때에 비해 영재학생의 정답률은 2.56% 낮아진 79.5%였고, 일반학생은 정답률이 11.4% 낮아진 64.7%를 보였다. 영재학생의 경우 노드가 증가하면서 문항이 복잡해 졌지만, 최단경로 탐색문제의 기본 구조를 노드 5, 7을 거치면서 인지했고 노드와 엣지 사이에서 발생하는 경로의 경우의 수를 순차적으로 해결하는 알고리즘적 사고가 가능해지면서 정답률이 2.6% 밖에 낮아지지 않은 것이다. 반면 일반학생의 정답률은 11.4%로 큰 폭으로 떨어졌는데, 그 이유는 노드와 엣지의 수가 증가하면서 고려해야 하는 경우의 수가 증가했지만 모든 경우에 대한 대처를 하지 않았기 때문이다. 영재학생의 경우 엣지의 수가 증가할수록 문제를 해결한 시간이 22초에서 24초로 큰 변화가 없었던 것에 비해 일반학생은 문제의 난이도가 증가했음에도 문제해결 시간은 오히려 점점 짧아졌다는 점이다.

라. 노드가 11일 때

<Table 10> Compared to the node 11

node	edge	Gifted student[N=39]		Normal student[N=92]	
		problem solving time(sec)	rate of correct answers(%)	problem solving time(sec)	rate of correct answers(%)
11	14	31.2	84.6	27.5	79.4
	17	25.7	41.0	24.0	37.0
	19	34.7	41.0	23.0	34.8
	22	29.0	51.3	22.2	32.6
M		30.2	54.5	24.2	45.9

노드가 11일 때는 노드가 5, 7, 9일 때와 마찬가지로 문제해결시간은 영재학생이 일반학생보다 6초 더 걸렸으나 정답률은 8.6% 높았다.

노드가 9일 때에 비해 영재학생과 일반학생 모두 정답률이 각각 25%, 18.8%로 크게 낮아졌다. 이는 그동안 접했던 문제와 달리 엣지가 17, 19, 22일 때 집중도를 높이기 위해 도착점의 위치를 바꿨기 때문이다. 즉, 문항에 새로운 변수를 넣은 것이다. 엣지 17에서는 영재학생, 일반학생 모두 도착점의 변화를 인지하지 못해 정답률이 각각 43.6%, 42.4%로 큰 폭으로 떨어졌다. 하지만 영재학생은 엣지 19에서 도착점의 변화에 대해 인지하기 시작했기 때문에 정답률이 41.0%로 유지를 했고, 엣지 22에서는 정답률이 41.0%에서 51.3%로 올랐다.

반면 일반학생의 경우 엣지 19에서 전 단계에 비해

정답률이 2.2% 낮아진 34.8%를 기록했고, 엣지 22에서도 도착점의 변화를 인지하지 못해 여전히 낮은 정답률인 32.6%를 보였다.

마. 노드가 13일 때

<Table 11> Compared to the node 13

node	edge	Gifted student[N=39]		Normal student[N=92]	
		problem solving time(sec)	rate of correct answers(%)	problem solving time(sec)	rate of correct answers(%)
13	16	41.1	69.2	28.3	62.0
	20	29.4	76.9	21.9	57.6
	23	30.7	66.7	24.2	43.5
	26	36.2	51.3	17.5	32.6
M		34.3	66.0	23.0	48.9

노드가 13일 때도 노드 5, 7, 9, 11일 때와 마찬가지로 영재학생의 문제해결 시간이 일반학생 보다 11.4초 오래 걸렸지만 정답률은 17.1% 높았다.

노드 11에 비해 정답률은 영재학생과 일반학생 모두 각각 11.5%, 3.0%로 높아진다. 노드 11일 때 도착점의 변화로 인해 정답률이 낮아진 상태에서 다시 기존의 도착점으로 바뀌었기 때문에 익숙해진 구조로 문제를 해결했기 때문이다.

노드 13에서는 두 집단의 정답률 차이를 눈여겨 볼 필요가 있다. 영재학생의 정답률은 66.0%로 일반학생의 48.9%에 비해 17.1%나 높다. 노드가 13일 때 엣지의 수가 20 이상으로 증가함에 따라 문항의 복잡성이 매우 커졌기 때문이다. 특히 전체 19문항 중 가장 구조가 복잡한 마지막 문항인 26엣지에서 18.7%의 큰 차이를 보인다. 문항이 복잡해지면서 노드와 엣지 사이의 경로의 수가 급격히 증가하는데 일반학생에 비해 영재학생이 정보를 구조화해서 경로들을 탐색해 문제를 해결했기 때문에 정답률이 상대적으로 높았다.

4.3 노드와 엣지의 변화에 따른 문제해결시간과 정답률의 차이 분석

4.3.1 노드와 엣지의 변화에 따른 정답문항의 문제해결 시간과 정답률 비교

문제해결시간과 정답률 사이의 관계를 더 세부적으로 파악하고자 정답인 문항에 할애한 시간만을 가지고

<Table 11>에서 분석을 해 보았다. 오답문항을 해결한 시간이 포함된 문제해결시간의 경우 우연에 의한 정답을 배제할 수 없기 때문이다. 또한 영재학생이 일반학생 보다 문제해결 시간이 왜 오래 걸리는지, 어디에서 차이가 나는지를 더 면밀히 분석하기 위해 정답인 문제만을 가지고 분석을 하였다.

오답을 포함한 문제해결시간과 정답문항만으로 문제해결시간을 파악한 것은 약 1~2초 정도로 차이가 거의 없었다. 정답유무에 관계없이 영재학생이 일반학생에 비해 문제해결 시간이 길었다는 것이고, 첫 번째 문항과 마지막 문항에서 시간차이가 많이 발생했기 때문에 이 부분에서 영재학생의 문제해결 시간이 길어진 이유를 설명할 수 있다.

<Table 12> Problem solving time and percent correct differences between the node and the edge

node	edge	Gifted student[N=39]			Normal student[N=92]		
		problem solving time(sec)		rate of correct answers (%)	problem solving time(sec)		rate of correct answers (%)
		Including incorrect answers	Correct answers		Including incorrect answers	Correct answers	
5	6	63.3	60.8	84.6	28.8	27.9	78.3
	8	22.8	20.7	89.7	21.5	24.0	71.7
	9	19.3	17.1	92.3	14.6	16.0	83.7
	M	35.2	32.9	88.9	21.6	22.7	77.9
7	9	30.1	31.9	87.2	22.2	23.4	82.6
	10	22.7	24.9	87.2	18.4	18.6	87.0
	12	24.8	28.1	74.4	20.7	23.3	71.7
	M	27.0	26.4	82.1	21.1	22.9	76.1
9	11	29.6	31.4	89.8	28.7	32.3	77.2
	14	23.1	23.2	79.5	24.2	24.0	62.0
	16	22.5	24.8	82.1	20.7	22.1	62.0
	M	24.8	26.7	79.5	23.1	24.2	64.7
11	14	31.2	30.7	84.6	27.5	29.2	79.4
	17	25.7	33.3	41.0	24.0	27.7	37.0
	19	34.7	40.8	41.0	23.0	26.1	34.8
	M	30.2	33.9	54.5	24.2	26.7	45.9
13	16	41.1	43.9	69.2	28.3	30.8	62.0
	20	29.4	30.9	76.9	21.9	23.1	57.6
	23	30.7	32.6	66.7	24.2	23.3	43.5
	M	34.3	36.9	66.0	23.0	23.5	48.9
Total	M	30.3	31.3	73.4	22.6	24.0	61.9

오답을 포함한 문제해결시간에 비해 정답인 문항만의 문제해결시간의 전체 평균을 보면 영재학생은 1초, 일반학생은 1.7초 증가했다. 두 집단 모두 각 노드의 평균에서도 대부분 1~2초 정도 증가했다. 즉, 문제해결 시간이 길어졌다는 말이고, 이를 통해 문제해결에 할애한 시간이 많아질수록 문항별로 가능한 경로들을 더 많이 파악했다는 것이다. 따라서 영재학생들은 일반학생에 비해 노드와 엣지의 증가에 따라 복잡해지는 경로를 파악하는 순서와 기준을 세우고 이를 바탕으로 탐색했다는 걸 입증한다.

4.4 최단경로 탐색 문제를 통해 알 수 있는 정보영재학생의 인지적 특성

최단경로 탐색 문제는 각 노드와 연결된 노드들, 노드와 노드 사이의 엣지들의 탐색할 경로를 나눠서 순서를 정하고 예측해서 실행하는 일련의 과정 즉, 알고리즘적 과정을 얼마나 정확하고 빠르게 해결하는지의 문제이다. 최단경로 탐색 문제를 통해 알 수 있는 정보영재의 인지적 특성을 찾아보고자 한다.

4.4.1 효율화 능력

<Table 12>를 보면, 같은 노드에서 엣지의 수가 가장 많을 때의 문항에서 영재학생과 일반학생의 정답률 차이가 크게 나타난다. 즉, 5노드 9엣지 일 때 8.6% 차이, 7노드 14엣지 일 때 16.5% 차이, 9노드 18엣지 일 때 9.1% 차이, 11노드 22엣지일 때 18.7% 차이, 13노드 26엣지일 때 18.7%의 차이를 보인다.

이렇게 각 노드의 마지막 문항에서 정답률의 차이가 큰 것은 정보영재의 인지적 특성 중 하나인 ‘효율화의 능력’으로 설명할 수 있다. 영재학생은 문제를 해결함에 있어 간단하고 효율적인 풀이 방법을 생각해 내면서 문제를 해결했기 때문이다. 노드가 증가할수록 문항의 난이도는 높아지고, 증가한 엣지 모두를 체크하기에는 많은 시간이 소요된다. 영재학생은 반드시 거쳐야 하는 경로들을 빠트리지 않고, 중복이 되거나 불필요한 경로는 제외함으로써 효과적으로 문제를 해결했기 때문에 정답률이 높아졌다.

효율화 능력은 어떤 문제를 해결하기 위해서 가장 간

단한 풀이 방법을 만들어 내는 것으로서 소프트웨어 개발에 매우 중요한 요소이다.

이러한 효율화 능력은 문교식[12]이 제시한 개념적 알고리즘의 6가지 유형 중 동적(Dynamic) 알고리즘과 탐욕(Greed) 알고리즘과 맥락을 같이 한다. 동적알고리즘은 전체 해를 얻기 위해 고려해야 하는 경우의 수가 많을 때, 많은 부분 해를 저장해 두고 필요할 때마다 그 결과를 참조함으로써 중복 계산을 방지하는 기법이다. 탐욕알고리즘은 현재의 상황에서 국소적으로 최적의 해를 찾는 과정을 차례로 이어나가면서 전체적 최적의 해를 찾는 알고리즘이다.

4.4.2 정보 구조 기억력

같은 노드 안에서 엣지 수의 증가에 따른 정답률의 변화를 통해서도 뚜렷하게 일반화할 차이를 발견하지 못했다. 문제를 해결하는데 엣지보다 노드가 더 많은 영향을 미쳤기 때문이고, 노드가 바뀔 때 첫 번째 문항에서 문항의 구조를 인식하는데 시간이 걸리고 이로 인해 일반화 하는데 어려움이 따르기 때문이다.

정답률이 75% 이상인 학생들의 각 노드의 첫 번째 문항에서 문제해결에 걸린 시간을 분석한 결과, 영재학생이 일반학생 보다 문제해결에 걸린 시간이 짧았고 정답률 또한 높았다. 이는 새로운 지도 이미지가 주어지는 노드별 첫 번째 문항에서 영재학생이 새로운 정보를 구조화해서 기억하는 능력이 뛰어나기 때문이다.

김갑수(2013)가 정보영재학생들의 인지적 특성으로 제시한 요소 중 하나인 '정보 구조 기억력'은 우리 주변의 상황의 글, 그림, 동영상 등에서 정보 요소를 파악하여 그 구조를 기억하는 능력이다[6]. 본 연구의 바탕이 된 PISA 2012 문제해결력 역시 최단경로를 찾는 지도 그림을 제시하고, 새롭게 접한 정보를 구조화한 형태로 기억하고 그 기억을 바탕으로 문제를 해결 할 수 있게 구성하였다.

그리고 정보영재학생의 문제해결시간이 일반학생에 비해 다소 오래 걸렸지만 정답률은 높았다. 이는 충분한 시간을 할애하면서 새로운 정보를 파악하는 과정이었으며, 집중력 있게 과제를 해결했다고 볼 수 있다. 따라서 이번 연구에서는 Renzulli가 영재의 특성으로 제시한 '과제 집착력'도 발견할 수 있었다[14].

5. 결론

프로그래밍 교육은 논리적 사고와 컴퓨팅 사고, 알고리즘적 사고를 개발하기 위해 정보영재학생이 반드시 배워야 하는 학습이다.

본 연구는 PISA 2012문제해결력 평가 문항 중 'TRAFFIC' 문항을 그래프 이론을 적용해 총 19문항의 최단경로 탐색문제를 만들었고, 이를 영재학생과 일반학생에 적용한 연구결론은 다음과 같다.

첫째, 최단경로 탐색 과정에서 문제해결시간과 정답률은 일정시간까지는 상관관계를 보인다. 즉, 시간이 증가할수록 정답률도 높아진다. 하지만 정답률 75% 이상에서는 문제해결 시간이 정답률에 큰 영향을 미치지 않는다. 일반학생은 문제해결 시간의 영향을 많이 받았지만, 영재학생은 상대적으로 적게 영향을 받았다. 영재학생은 일반학생에 비해 여러 시간대에서 80% 이상의 높은 정답률 분포를 보였기 때문이다.

둘째, 영재학생이 일반학생에 비해 전체 정답률이 높았고, 노드가 증가할수록 정답률도 높았다. 다만 엣지 수의 증가에 따른 유의미한 차이는 없었다. 이를 통해 최단경로 문제를 해결하는 데는 엣지보다 노드가 더 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

셋째, 최단경로 탐색 과정을 통해 정보영재의 인지적 특성인 '효율화 능력'과 '정보 구조 기억력'을 확인할 수 있었다. 효율화 능력은 각 노드의 마지막 문항에서 정보영재와 일반학생의 정답률 차이가 크게 발생하는 것에서 찾을 수 있었다. 정보영재학생은 노드와 엣지가 증가하면서 탐색해야 하는 경로들이 많아지는데, 반드시 거쳐야 하는 경로들은 빠트리지 않으면서 불필요하거나 중복해서 탐색하지 않아도 되는 경로를 배제하면서 문제를 해결했기 때문이다. '정보 구조 기억력'은 각 노드의 첫 번째 문제에서 정보영재학생이 일반학생보다 문제에 할애한 시간이 다소 길었지만 새롭게 주어진 정보 요소를 파악하고 그 구조를 기억했기 때문에 일반학생에 비해 같은 정답률이 높아질 수 있었다.

이번 최단경로 탐색 문제를 통해 문제해결시간과 정답률 간에는 일정한 상관관계가 있으나, 정답률이 높은 상황에서는 크게 작용을 하지 않음을 알 수 있었다. 또한, 새로운 문제를 접했을 때 정보영재학생은 집중력 있게 문제를 상세히 파악했으며 이는 Renzulli가 제안한

영재의 특성 중 ‘과제집착력’을 발견할 수 있었고, 정보 영재학생의 인지적 특성인 ‘효율화 능력’과 ‘정보 구조 기억력’을 실제 사례를 통해 확인할 수 있었다.

향후 연구를 위해 다음과 같이 제언한다.

첫째, 노트 13에서 영재학생과 일반학생의 문제해결 시간과 정답률의 차이가 명확하게 드러났다. 난이도가 낮은 노트 5를 제외하고 노트 13이상으로 문제를 확장한다면 더 명확한 자료를 얻을 수 있을 것이다.

둘째, 검사 문항이 웹기반으로 제작되었고, 옛지의 가중치가 랜덤으로 주어지기 때문에 그래프 이론 수업을 하면서 사전, 사후 검사를 한다면 학습 전과 후의 유의미한 결과도 얻을 수 있을 것이다. 또한, 이번 연구에 쓰인 최단경로 탐색 검사 문항을 정보영재학생 뿐만 아니라 수학, 과학 영재학생들에게도 적용해서 영재들 간 차이가 있는지 알아보는 것 또한 의미 있는 연구가 될 것이다.

셋째, 영재학생의 선발 과정이나 수업, 평가 등의 과정에서 다양한 컴퓨터 기반 프로그램과 어플리케이션을 개발하고 활용해야 한다면 영재교육 발전에 큰 밑거름이 될 것이다.

참고문헌

- [1] Cho, Sungjin., Kim, Handu (2013). Combinatorics and Graph theory. p.520, kyungmoonsa.
- [2] Choi, Jeongwon., Lee, Eunyoung., Lee, Youngjun (2013). Analysis of UK Computing textbooks for Elementary School Informatics Education. *The Korean Association of Computer Education*, 17(1), 19-22.
- [3] Euler, Leonhard. *Solutio Problematis ad Geometriam Situs Pertinentis, Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae*, 8, 128-140, 1741.
- [4] Jun, Woochun (2011). A Study on Correlation Analysis of Programming Ability and Logical Thinking Ability for the Gifted Children in IT. *Journal of Gifted/Talented Education*, 21(3), 761-772.
- [5] Kim, Kapsu (2013). A Study on Cognitive Characteristics of Information Gifted Children. *Journal of The Korean Association of information Education*, 17(2), 191-198.
- [6] Kim, Kapsu (2010). A Study on Programming Language Instruction Strategies of Improving the creative and logical thinking for Elementary Students. *Journal of The Korean Association of information Education*, 8(2), 63-70.
- [7] Lee, Jaeho., Lee, Jaesu (2006). A Study on the Development of the Selective Test Item for the Gifted of Elementary Information Science. *Journal of Gifted/Talented Education*, 16(1), 81-100.
- [8] Lee, Jaeho., Oh, Hyeonjong (2009). Design and Validation of Education Contents of Algorithm for the Gifted Elementary Students of Computer Science. *Journal of Gifted/Talented Education*, 19(2), 353-380.
- [9] Lee, Juhee., Kim, Kapsu (2006). A Study on Teaching and Learning in Sort-Algorithm for Concrete Operational Stage Students. *Journal of The Korean Association of information Education*, 11(2), 95-100.
- [10] Lee, Wookey., Park, Soonhyong (2014). Graph and Social Network. *Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, 32(1), 33-43.
- [11] M. Wing, Jeannette (2008). Computational thinking and thinking about computing. *Philosophical transactions of the royal society*, 366(1881), 3717-3725.
- [12] Moon, Gysik (2007). On the Direction of the Computer Algorithm Education Based on Conceptual Algorithms. *Journal of The Korean Association of information Education*, 11(1), 29-38.
- [13] OECD (2014). PISA 2012 Results: Creative Problem Solving. Vol.V, Paris: OECD.
- [14] Renzulli, J. S. (1978). What makes giftedness? Reexamining a definition. *Phi Delta Kappan*, 60(3), 180-184.
- [15] Salomon, G. (1987). Transfer of Cognitive Skills from Programming: When and How? *Journal of Educational Computing Research*, 3, 149-169.

저자소개



강성웅

2010.2 경인교육대학교 컴퓨터교육과(학사)

2015.8 서울교육대학교 교육전문대학원 초등영재교육학전공(석사)

2011.9~현재 서울신곡초등학교 교사

관심분야: 정보영재교육, 프로그래밍교육, 알고리즘 교육

e-mail: kangteus@sen.go.kr



김갑수

1985 서울대학교계산통계학과(학사)

1987 서울대학교 계산통계학과 전산학전공(석사)

1996 서울대학교 계산통계학과 전산학전공(박사)

1987~1992 삼성전자 사원-과장

1995~1998 서경대학교 전임강사-조교수

1998~현재 서울교육대학교 컴퓨터교육과 조교수-교수

관심분야: 컴퓨터 교육, SW 공학, 정보 영재, 기능성 게임

e-mail: kskim@snue.ac.kr