컴퓨터 프로그래밍 학습자의 인지적 어려움에 대한 문헌고찰

김동만[O], 이태욱[*]
[O]한국교원대학교 컴퓨터교육과,
[*]한국교원대학교 컴퓨터교육과
e-mail: emotionman@indischool.com[O], twlee@knue.ac.kr[*]

Review of Cognitive Difficulties of Students to Learn Computer Programming

Dong Man Kim[O], Tae Wuk Lee[*]
[O]Dept. of Computer Education, Korea National University of Education,
[*]Dept. of Computer Education, Korea National University of Education

● 요 약 ●

이 연구의 목적은 문헌고찰을 통해 초보 프로그래머가 겪는 어려움의 원인을 이해하고 보다 효과적인 교육 방향과 전략을 수립하는데 기여하는 데 있다. 그래서 인지 과학적 관점에서 프로그래밍에 필요한 지식의 유형에 따라 초보 프로그래머가 겪는 어려움에 대해 고찰하였다. 이 연구의 결론은 1)초보 프로그래머들은 구문 지식, 개념적 지식, 전략적 지식의 부재로 어려움을 겪고, 특히 개념적 지식의 부재가 가장 많은 원인으로 확인되었고, 2)교육용 프로그래밍 언어를 이용한 입문자 과정에서는 학습자의 개념적 지식 형성에 중점을 두고 지도해야 하고, 3)초보 프로그래머가 전략적 지식을 배양하기 위해서는 컴퓨터의 특성을 올바로 인지할 수 있게 도와주어야 하고, 4)프로그래밍에 필요한 개념적 지식의 실체를 구체적으로 밝혀야 할 이유를 확인하였다.

키워드: Programming Education, Cognitive Difficulties, Misconception, Programming Knowledge

I. Introduction

교육자는 학습자가 무엇을 어려워하는지, 학습 과정에서 발생시킨 오류의 원인은 무엇인지에 대해 알고 있다면, 교육의 효과는 개선되고 효율성은 증대된다. 이와 같은 학습자에 대한 이해는 프로그래밍 교육에서도 마찬가지로 학습 목표 도달에 중요한 역할을 한다. 즉, 프로그래밍 교육자는 학습자의 이해 정도를 파악하고 프로그래밍 어려움의 근원에 대해 잘 알고 있을 때 보다 적절한 교육전략을 선택할 수 있다. 그리고 프로그래밍 입문자 과정에서 교육자의 이런 지식은 교육 이탈자를 최소화할 수 있다.

이 연구는 문헌고찰을 통해 초보 프로그래머가 겪는 어려움의 원인을 이해하여 보다 효과적인 교육 방향 설정과 교수학습 전략 수립에 기여하는데 목적이 있다.

II. Method

1. 분석 대상

이 연구에서는 초보 프로그래밍 학습자의 어려움의 원인을 분석하기 위해 다음과 같은 문헌 고찰한 기준을 설정하였다.

첫째, 초보 학습자를 대상으로 프로그래밍 교육을 적용한 연구 논문이어야 한다. 둘째, 프로그래밍 어려움의 원인을 제시한 연구 논문이어야 한다. 셋째, 프로그래밍 어려움의 원인을 학습자의 내면에서 찾아 제시한 논문이어야 한다. 넷째, 국내는 KCI 이상, 국외는 국제학술대회 및 SCUPUS 이상에 게재되어 전자 자료로 원문이 공개된 논문이어야 한다. 이와 같은 기준으로 국내 문헌은 RISS를 이용하고, 해외 문헌은 한국교원대학교 도서관 전자자료검색(Discovery)를 이용하였다.

문헌에서 제시한 오개념, 어려움, 오표현, 실수 등의 표현은 모두 프로그래밍의 어려움의 원인으로 해석될 수 있다. 그래서 검색에 필요한 키워드는 '프로그래밍(programming)'에 중복 검색으로 '오개념(misconception)', '어려움(difficulties)', '오표현(misrepresentation)', '실수(mistake)' 등을 사용하여 국내 및 해외 논문을 각각 검색하였다. 이와 같은 방법으로 검색한 국내 문헌은 230편, 해외 문헌은 2250편이었다. 검색된 논문을 한 편씩 초록을 읽어보고 문헌을 고찰한 기준에 맞아 연구에 적합한 문헌을 선정하였다. 이와 같은 대상 선정의 방법을 통해 최종적으로 분석한 논문은 33편이다[2-34].

2. 분석 방법

인지 과학자들은 일반적으로 컴퓨터 프로그래밍에 관련된 지식(knowledge)으로 구문(syntactic), 개념적(conceptual), 그리고 전략적(strategic) 등과 같은 3가지 유형이 있다는 데 동의한다[1][2]. 구문 지식(syntactic knowledge)은 프로그램 언어에 따라 다르게 정의되는 문법 및 형식과 같은 언어 기능과 관련된 지식이다[2]. 개념적 지식(conceptual knowledge)은 일반적으로 프로그램 언어에 적용되는 프로그래밍 개념(programming concepts)에 관한 것으로, 의미 이해와 필요한 코드를 작성하는 데 필요한 설계 기술이 포함된다[2]. 전략적 지식(strategic knowledge)은 프로그래머가 구문 및 개념 지식을 프로그램 개발에 적용할 수 있게 설계하고 알고리즘을 개발하는 지식이다[2].

분석 대상의 연구 결과를 읽고, 제시된 원인을 인지 과학적 관점에서의 구분 방법에 따라 3가지로 분류하였다. 분류과정에서 '구문과 의미론의 이해 부족'과 같이 2가지 이상의 원인으로 제시한 경우는 해당 지식 영역에 각각 표시하는 방식으로 분석하였다. 그리고 결과 해석 중 실용적인 지원 기술의 부족, 학습자의 습관, 인지 능력의 부족 등으로 발생하는 원인은 이 연구의 분류 기준에 해당되지 않는 것으로 판단되기에 제외하였다.

III. Results

인지 과학적 측면에서 초보 프로그래머를 대상으로 진행한 연구에서 프로그래밍이 어려운 원인을 찾아 정리하면 아래 Table 1.과 같다.

Table 1. The Causes of novice programmer's cognitive difficulties

N	Author (year)	Syntactic	Conceptual	Strategic
1	Du Boulay(1986)		●	●
2	Putnam et al.(1986)		●	
3	Sleeman et al.(1986)		●	
4	Fleury(1991)		●	
5	Winslow(1996)		●	
6	Lan Jeong(1996)	●	●	●
7	Madison(1997)		●	
8	Fleury(2000)			●
9	Milne et al.(2002)		●	
10	Hristova et al.(2003)	●		
11	Robins et al.(2003)	●		●
12	Ragonis et al.(2005)		●	
13	Eckerdal et al.(2005)		●	
14	Lahtinen et al.(2005)		●	●
15	Teif et al.(2006)		●	
16	Vainio(2006)		●	
17	HyeSun Jang et al.(2007)		●	
18	Gomes et al.(2007)			●
19	Vainio et al.(2007)		●	●
20	Haberman et al.(2008)			●
21	Sajaniemi et al.(2008)		●	
22	Renumol et al.(2009)		●	
23	Hyun Jong Choe(2011)	●	●	●
24	Papadopoulos et al.(2012)			●
25	Siti Rosminah et al.(2012)	●	●	●
26	Juha Sorva(2013)		●	
27	GyeongMi Kim et al.(2014)		●	●
28	Seong-Won Kim (2014)	●	●	●
29	Soohwan Kim(2015)	●	●	●
30	Mi-ja Oh(2017)	●	●	
31	Qian et al.(2017)	●		●
32	Kwon, K.(2017)	●	●	●
33	Chul-hyun Lee(2019)	●	●	●
Total		11	26	17

초보 프로그래머가 겪은 어려움의 원인을 제시한 문헌을 확인하였을 때, 개념적 지식, 전략적 지식, 구문 지식 등의 순으로 확인되었다. 이는 수치적으로 확인할 수 있는 근거로는 부족하지만, 상대적으로 개념적 지식과 절차적 지식 등의 부재로 인한 어려움이 구문 지식보다 큰 것으로 확인되었다.

IV. Discussion

이상의 문헌 고찰로 초보 학습자는 개념적 지식의 부재로 컴퓨터에게 명령을 내릴 때, 어떤 것으로, 어떻게 그 명령을 처리하는지, 어떻게 처리하게 지시해야하는지에 대한 이해가 부족함을 확인하였다. 개념적 지식은 프로그래밍 요소의 이해와 논리적 조합방법에 대한 지식이다. 프로그램은 프로그래밍 요소들의 조합으로 이루어진다. 컴퓨터에게 내린 지시문은 컴퓨터가 알고 있는 개념을 통해서만 작동가능하다. 프로그래머는 컴퓨터가 이해할 수 있는 방식의 개념인 프로그래밍 요소들로 개념화하고, 그 이해를 바탕으로 프로그래밍해 할 수 있어야 한다. 따라서 초보 프로그래머는 인간이 갖고 있는 개념을 전제로 생각하지 않고 한정된 프로그래밍 요소만을 조합하여 한정적으로 사고하는 방식에 익숙해져야 한다.

그리고 초보 프로그래머들은 컴퓨팅 환경이라는 익숙하지 않은 새로운 맥락의 특성을 제대로 반영하여 프로그래밍하지 못하고 있음을 확인할 수 있었다. 구문 지식, 개념적 지식, 전략적 지식 모두 프로그래밍 환경의 특성을 파악하지 못하면 오류가 발생할 수밖에 없다 것에 대한 인식이 부족한 것이다. 따라서 초보 프로그래머가 갖추어야 할 개념적 지식을 형성하는 방법은 프로그래밍 환경의 특성에서 야기된 프로그래밍을 구성하는 요소들의 속성을 정확히 이해하는 경험을 제공하는 것이다.

학습자는 프로그래밍으로 컴퓨터가 이해할 수 있는 제한된 요소들을 바탕으로 자신의 생각을 전달하는 과정에서 논리적인 조합의 힘을 경험하게 된다. 만약 학습자가 프로그래밍에 필요한 요소가 가진 특성과 이를 알고리즘으로 표현할 때 적절한 명령어의 특성을 고려하여 논리적으로 조합하는 사고과정에 익숙하지 않다면 오류가 발생한다. 따라서 논리적인 조합을 위해서는 프로그래밍 요소의 특성을 잘 알아야 한다.

Sorva(2013)의 주장과 같이 초보 프로그래머들이 컴퓨터 시스템이 할 수 있는 일에 대한 오해를 갖고 있다면 전략적 지식 형성의 기초가 굳건하지 못하게 된다[28]. 교육자는 쉽게 개념적 지식을 전달하기 위해 다양한 형태의 비유적 표현을 자주 사용한다. 그런데, 이런 비유적 언어를 통해 이해하는 방법의 상대적 용이성과는 대조적으로, 프로그래밍 상황에서는 인간과 기계간의 소통에 어려움이 있게 된다. 프로그래머가 사람 간 의사소통 습관을 그대로 컴퓨터에게 적용한다면

올바른 실행을 위한 명령어를 완성하지 못하기 때문이다. 이와 같은 경향으로 초보자는 문제해결 전략의 설계나 절차가 드러나는 알고리즘을 개발할 때 한계가 드러나게 된 것이다. 따라서 학습자가 갖고 있는 일반적인 의사소통을 위한 암묵적인 습관에 의존하여 컴퓨터에게 명목적으로 지시하지 않는 경향을 수정할 필요가 있다. 그리고 교육자는 일상생활 의사소통 습관을 바탕으로 학습자에게 프로그래밍에 필요한 지식을 전달할 때 프로그래밍 실행에 대한 오해가 생기지 않도록 세심한 주의가 필요함을 알 수 있다.

최근에는 구문적 규칙의 오류로 발생하는 초보자의 어려움을 줄이고자 비주얼 방식의 교육용 프로그래밍 언어(educational programming language)를 개발하고 입문자들에게 적용하고 있다. 교육용 프로그래밍 언어의 특성상 학습자가 갖는 구문 지식에 대한 인지적 부담은 고전적인 방식보다 크게 줄어들고 있다. 그리고 전략적 지식은 개념적 지식이 확보되지 않으면 제대로 적용하지 못한다. 개념적 지식을 바탕이 되지 않은 전략적 지식은 컴퓨터가 이해할 수 없는 방법으로 계획이 진행되기 때문이다. 따라서 교육용 프로그래밍 언어를 활용한 입문자 교육에서 학습과정 설계자는 개념적 지식의 형성에 중심을 두고 내용과 절차를 설정할 필요가 있다.

Ⅴ. Conclusions and Future Work

이 연구는 인지적(Cognitive)의 관점에서 프로그래밍에 필요한 지식은 구문 지식(syntactic knowledge), 개념적 지식(conceptual knowledge), 전략적 지식(strategic knowledge) 등과 같은 유형의 지식으로 분석하여 초보 프로그래머가 겪는 어려움에 대해 고찰하였다. 이 연구를 통해 얻은 입문자를 위한 프로그래밍 교육 방향 및 연구 전략은 다음과 같다.

첫째, 초보 프로그래머들은 인지적 관점에서 프로그래밍에 필요한 구문 지식, 개념적 지식, 전략적 지식 등의 부재로 어려움을 겪는다. 특히 개념적 지식의 부재 가장 많은 연구에서 프로그래밍 어려움의 원인으로 확인되었다. 이런 인지 지식의 교육 방법에 대한 교육 및 연구가 필요하다.

둘째, 교육자는 교육용 프로그래밍 언어를 이용한 입문자 교육에서는 학습자가 개념적 지식을 올바로 형성할 수 있는 노력을 강구해야 한다. 그리고 이런 노력은 프로그래밍 구성 요소의 속성을 정확히 이해하는 경험에 중점을 두어야 할 것이다.

셋째, 교육자는 초보 프로그래머가 전략적 지식을 배양하기 위해서 컴퓨터의 특성을 올바로 인지할 수 있게 도와주어야 한다. 그리고 프로그래밍 교육의 지식 전달의 방법에서 일상적인 인간 간 의사소통 습관과 다른, 컴퓨터와의 의사소통에 익숙하게 학습자가 사고할 수 있게 도와주는 교수 전략을 갖추어야 하겠다.

넷째, 연구자는 프로그래밍에 필요한 개념적 지식의 실체를 구체적으로 밝혀야 한다. 이를 통해, 교육자는 학습자가 쉽게 인지할 수 있는 효과적인 방법을 설계할 수 있고, 해당 실체의 부재를 확인하여 올바른 개념적 지식의 확인 및 학습 추천을 할 수 있다.

후속 연구로, 초보 학습자에게 필요한 프로그래밍 개념적 지식의 구체적인 실체를 밝히기 위한 연구를 진행하고자 한다.

REFERENCES

[1] McGill, T. J., Volet, S. E.. “A Conceptual Framework for Analyzing Students’ Knowledge of Programming,” Journal of Research on Computing in Education, Vol. 29, No. 3, pp. 276-297, Mar. 1997.

[2] Kwon, K., “Student’s misconception of programming reflected on problem-solving plans,” International Journal of Computer Science Education in Schools, Vol. 1, No. 4, pp. 14-25. Oct. 2017. DOI: 10.21585/ijcses.v1i4.19

[3] Du Boulay, B., “Some Difficulties of Learning to Program,” Journal of Educational Computing Research, Vol. 42, No. 1, pp. 57-73, Feb. 1986.

[4] Putnam, R. T., Sleeman, D., Baxter, J. A., and Kuspa, L. K., “A summary of misconceptions of high school BASIC programmers,” Journal of Educational Computing Research, Vol. 2, No. 4, pp. 459-472, Nov. 1986.

[5] Sleeman, D., Putnam, R. T., Baxter, J. A., and Kuspa, L. K., “Pascal and high school students: a study of errors,” Journal of Educational Computing Research, Vol. 2, No. 1, pp. 5-23, Feb. 1986.

[6] Fleury, A. E., “Parameter passing: the rules the students construct,” ACM SIGCSE Bulletin, Vol. 23, No. 1, pp. 283-286, Mar. 1991.

[7] Winslow, L. E., “Programming Pedagogy-A Psychological Overview,” ACM SIGCSE Bulletin, Vol. 28, No. 3, pp. 17-22, Sep. 1996.

[8] Lan Jeong, “Analysis of characteristics of novice programmers and teaching schemes,” Journal of THESES COLLECTION, Vol. 29, No. 1, pp. 3887-411, 1996.

[9] Madison, S., Gifford, J., “Parameter passing: The conceptions novices construct,” Retrieved from http://eric. ed.gov/PDFS/ED406211.pdf. Mar. 1997.

[10] Fleury, A. E., “Programming in Java: student-constructed rules,” ACM SIGCSE Bulletin, Vol. 32, No. 1, pp. 197-201, Jan. 2000.

[11] Milne, I., Rowe, G, “Difficulties in learning and teaching programming-views of students and tutors,” Education and Information Technologies. Vol. 7, No. 1, pp. 55-66, Mar. 2002.

[12] Hristova, M., Misra, A., Rutter, M., Mercuri, R., “Identifying and correcting Java programming errors for introductory computer science students,” ACM SIGCSE Bulletin, Vol. 35, No. 1, pp. 153-156, Feb. 2003.

[13] Robins, A., Rountree, J., Rountree, N., “Learning and Teaching Programming: A Review and Discussion,” Computer Science Education, Vol. 13, No. 2, pp. 137-

172. 2003. Published online: Aug. 2010.

[14] Ragonis, N., Ben-Ari, M., "On understanding the statics and dynamics of object-oriented programs," ACM SIGCSE Bulletin, Vol. 37, No. 1, pp. 226-330. Feb 2005.

[15] Eckerdal, A., Thune´, M., "Novice Java programmers' conceptions of object and class" and variation theory," ACM SIGCSE Bulletin, Vol. 37, No. 3, pp. 89-93. Jun. 2005.

[16] Lahtinen, E., Ala-Mutka, K., Jarvinen, H. M., "A study of the difficulties of novice programmers," ACM SIGCSE Bulletin, Vol. 37, No. 3, pp. 14-18. Sep. 2005.

[17] Teif, M., Hazzan, O., "Partonomy and taxonomy in object-oriented thinking: junior high school students' perceptions of object-oriented basic concepts," ACM SIGCSE Bulletin, Vol. 38, No. 4, pp. 55-60. Jun. 2006.

[18] Vainio, V., "Students's mental models about program execution on a fisrt programming course," Master's thesis. Department of Psychology, University of HELSINKI. Aug. 2006.

[19] Vainio, V., Sajaniemi, J., "Factors in novice program mers' poor tracing skills," ACM SIGCSE Bulletin, Vol. 39, No. 3, pp. 236-240. Jun. 2007.

[20] Hye Sun Jang, Sook Kyoung Choi, Soo Jin Jun, Yong Chul Yeom, Won Gyu Lee, "Programming Learning Supporting System based on Error Feedback for Novices," The Journal of Korean association of computer education, Vol. 10, No. 6, pp. 1-10. Jul. 2007.

[21] Gomes, A., Mendes, A. J. N., "Learning to program-d ifficulties and solutions. International Conference on Engineering Education," Retrieved from http://icee2007 .dei.uc.pt/proceedings/papers/411.pdf. Sep. 2007.

[22] Haberman, B., Muller, O., "Teaching abstraction to novi ces: Pattern-based and ADT-based problem-solving processes," Frontiers in Education Conference. Oct. 2008. DOI: 10.1109/FIE.2008.4720415

[23] Jorma Sajaniemi, Marja Kuittinen, Taina Tikansalo, "A study of the development of students' visualizations of program state during an elementary object-oriented programming course," Journal on Educational Resources in Computing. Vol. 7, No. 4, pp. 1-16, Jan. 2008.

[24] Renumol, V., Jayaprakash, S., Janakiram, D., "Classific ation of cognitive difficulties of students to learn computer programming," Indian Institute of Technology, Retrieved from http://dos.iitm.ac.in/publications/LabPape rs/techRep2009-01.pdf. 2009.

[25] Hyun Jong Choe, "The Programming Education Frame work for Programming Course in University," The Journal of Korean association of computer education, Vol. 14 No. 1, pp. 69-79, Jan. 2011.

[26] Papadopoulos, Y., Tegos, S., "Using microworlds to introduce programming to novices," Proceedings of the 2012 16th Panhellenic Conference on Informatics, pp. 180–185, Dec. 2012. DOI: 10.1109/PCi.2012.18

[27] Siti Rosminah, M. D., Ahmad Zamzuri, M. A., "Diffic ulties in learning programming: Views of students," 1st International Conference on Current Issues in Education(ICCIE 2012), Sep. 2012. DOI: 10.13140/2.1. 1055.7441

[28] Juha Sorva, "Notional machines and introductory progr amming education," ACM Transactions on Computing Education, Vol. 13, No. 2, pp. 1-31. Jun. 2013.

[29] Gyeong Mi Kim, Hyeon Sug Kim, "A Case Study on Necessity of Computer Programming for Interdisciplina ry Education," Journal of Digital Convergence, Vol. 12, No. 11, pp. 339-348. Nov. 2014.

[30] Seong-Won Kim, Youngjun Lee, "Development of Programming-based TPACK Education Program through Design-based Research," Journal of the Korea society of computer and information, Vol. 24, No. 10, pp. 267-278, Sep. 2019.

[31] Soohwan Kim, "Analysis of Non-Computer Majors' Difficulties in Computational Thinking Education," The Journal of Korean association of computer education, Vol. 18, No. 3, pp. 49-57. May. 2015.

[32] Mi-ja Oh, "Non-Major Students' Perceptions of Program ming Education Using the Scratch Programming Language," The Journal of Korean association of computer education, Vol. 20, No. 1, pp. 1-11. Jan. 2017.

[33] Qian, Y. & Lehman, J. "Students' Misconceptions and Other Difficulties in Introductory Programming," ACM Transactions on Computing Education, Vol. 18, No. 1, pp. 1–24. Oct. 2017

[34] Chul-hyun Lee, "Elementary School Teachers' Difficul ties in Learning Programming EPL," Journal of Korean practical arts education, Vol. 32, No. 2, pp. 49-63, Jun. 2019.