

직접교수법에 의한 기초공학(물리학)에서 학습장애자 교육 Physics Education for the Learning-disabled by the Direct Instruction

황운학*

한국기술교육대학교 문리HRD학부

Un-Hak Hwang*

School of Arts, KOREATECH, Cheonan 31253, Korea

[요약]

이 연구는 직접교수법을 적용해 기초공학의 일부인 물리학 수업에서 발생하는 교육장애학생에 대한 교육을 다루었다. 이 직접교육이란 교육자가 수업방향을 분명히 잡고 강력하게 이끄는 것이 중요한 교육요소인 방법론이다. 임의의 학생 100명에 대해 문제해결에 대한 이해력, 추리력, 기억력, 문제해결속도를 측정하여 20명(20%) 학생이 기초공학장애자로 나타났다. 한편, 직접교육을 통해 표본그룹(41명)의 중간고사와 기말고사에서 각각 53.7%와 61.0%의 성적을 거두어서 13.6% 증가를 보여주었으나 성적 50% 이하인 하위 그룹은 각각 29.8%와 28.2%를 거두어 오히려 감소하였다. 그러나 특별히 성적 최하위 20%인 8명의 학생을 학습장애자로 선정하여 별도로 여가의 직접교육을 수행하였고 이들은 중간고사 및 기말고사 평균점수는 각각 18.9%와 25.5% 로써 6.6% 증가를 보여주어 학습장애자들에 대한 직접교육이 실효가 있음을 보여주었다.

[Abstract]

The Direct Instruction (DI) was applied to the learning-disabled in the basic engineering education (especially, physics education). The DI is specified as an educational method in which the instructor strongly controls during the whole process of the entire course. The tests of understanding, reasoning, memory, and problem-solving speed showed that 20 students (20%) out of random 100 students are learning-disabled. The average points of mid-term and final exams were 53.7% and 61.0% respectively for a certain 41-students class. However, in this class, for the lower point students who obtained less than 50% points, the average points of mid-term and final exams were 29.8% and 28.2% respectively, which showed decreased. From this lower point group, the 8 students (20% students of 41 students) were selected as the learning-disabled. With additional DI studies provided, the average points of mid-term and final exams for the learning-disabled were 18.9% and 25.5% respectively, which showed 6.6% increase that means the DI for the learning-disabled was effective.

Key Words: Direct Instruction, Engineering education, Learning- disabled education

<http://dx.doi.org/10.14702/JPEE.2015.081>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 31 August 2015; **Revised** 22 September 2015

Accepted 30 October 2015

***Corresponding Author**

E-mail: uhwang@koreatech.ac.kr

I. 서론

오늘날 일반물리학과 그 실험 수업은 전통적 공학 분야뿐 아니라 인지공학이나 인간공학 등 더 다양한 분야로 진화하는 공학의 기초과목으로써 쓰여지며 더욱 폭넓은 교육을 요구한다. 실제로 미국의 Aguilar 등에[1] 따르면 인종, 학력, 지역, 빈부에 따른 연구를 하여 사회심리학적 분석을 할 정도로 사회적 관심을 끄는 것 중 하나가 미국 대학에서 매년 약 30% 학생들이 일반물리학 수업에서 탈락하는 것이다. 그 이유로 기초가 부족하기 때문이라고 하지만 이미 선행과목이나 AP과목 수강 등, 준비가 충분이 주어진 상태에서 수강하기 때문에 이 이유는 많은 경우에 맞지 않는다. 한국에서도 필자의 지난 20년의 강의에서도 수능 상위 20% 이내의 똑같은 수준의 학생들이 대학에 입학해 일반물리학을 수강했는데 매 학기 약 20~30% 학생들은 공학을 전공하지 못할 C 학점 이하가 주어짐을 알았다. 미국에서는 실패자들이 학교를 떠나지만(또는 전혀 다른 전공을 택한다) 한국에서는 여러 가지 이유로 자기가 입학한 공학을 마치고 졸업하는 것이 현실이어서 이들에 대한 특별한 교육이 제공되어야 한다고 생각해 장애학생들에게 맞는 교수법으로 알려진 직접교육법에 대한 연구를 하게 되었다. 한편, 이 같은 부적응 때문에 미국에서는 공학 기피현상이 매우 심하게 나타났으나 한국에서는 오히려 공학 지원이 두드러져 이른바 공학장애 학생들에 대한 특별교육 방법을 찾아보고자 한다.

학습에서 교육자가 수업방향을 분명히 잡고 강력하게 이끄는 것이 중요한 교육요소라 할 때 교육자 개개인이 학생들을 변화시키기 위해 특별히 노력하는 교육방식이 직접교육이며 이를 통해 공학장애 학생들의 성공률을 높일 수 있음이 이 논문에서는 보여준다.

수업 장애학생을 판단하는 기준은 천재학생을 판단하는 기준과 차이가 없다. 학습에 대한 천재성이나 장애를 판단하는 학습 정도를 측정하는 척도를 정의한 대표적인 연구자들

은 Wechsler, Roid, Kaufman 등이고 이들의 장애여부를 판단하는 잣대를 비교하면 표 1과 같다(참고문헌들 포함). 이들 잣대를 종합하면 공학장애를 알아보기 위해서는 문제해결에 대한 이해력, 추리력, 기억력, 문제해결속도를 측정하는 것이다.

그러나 혼란스러운 것은 어학이나 수리학에서는 장애가 없으나 오로지 기초공학(특별히 물리학)에서만 장애가 나타난다는데 교육적 어려움이 많다. 이와 유사하게 정상적인 인지기능을 가지고 있으나(심지어 일부는 천재성을 보이지만) 오직 특정분야에만 학습애로를 나타내는 특정장애로써 널리 알려진 학습장애는 난독증(디스렉시아, Dyslexia), 난수증(디스칼쿠리아, Dyscalculia) 등이 있다. 그리고 이들에 대해서는 많은 지원과 관심뿐 아니라 연구가 많이 진행되었고, 특히 미국에서는 전문가들이 많이 배출되어 일선 학교에서 이들에게 상담과 치료를 하고 있다. 그래서 특정 장애(천재) 피교육자들을 발견하기 위한 전문가들의 평가가 정기적으로 이루어지고 있고, 그들에 대한 권익을 보장하는 조례가 제정되었으며, 상담이나 치료 후 그 결과에 대한 평가도 잘 이루어지고 있다.

이와 유사하게 이 연구에서도 참여한 학생들은 수학적력고사 시험에서 모두 상위점수를 얻은 학생들임에도 불구하고 뜻밖의 공학학습장애가 나타났으며 이 현상을 디스엔지니어리(Dysengineeria)라 부를 수 있고 해당 한글 표현으로 「공학치」가 적당하며, 「기계치」 또는 「방향치」와 같이, 정상적인 사람인데(다른 분야에는 천재성도 있는) 오직 공학학습에서만은 다른 사람에 비해 매우 큰 장애를 겪고 있는 사람을 지칭한다. 다만 이 연구에서는 언어순화를 위해 「공학치」에 해당하는 학생들을 「공학장애학생」이라는 용어를 사용하였으나 의미는 조금 다르다고 생각된다.

제 II장에서는 직접교수법에 대한 비교 언급을 하였고 이 학습법에 따라 얻어진 실험결과들을 그래프로 그려 분석하였으며, 제 III장에서는 연구의 결론을 다루었다.

표 1. 공학장애자를 구분하는 척도를 제시하는 3가지 표준연구

Table 1. Standard researches for determining the engineering-disabled

내용	연구자	Wechsler (WISC-IV, 2003)	Roid (SB-5, 2003)	Kaufman & Kaufman (KABC-II, 2004)
판단 척도		언어 이해력 지각 추리력 작업 기억력 처리 속도	유동체 추리력 지식 정량적 추리력 시각-공간 처리력 작업 기억력	시각적 처리력 유동체 추리력 단기 및 장기 기억력
참고문헌		[13]	[14]	[15]

II. 직접교육과 공학장애자에 대한 실험

A. 직접교육

직접교육법(Direct Instruction)은[2] 교수-학생이 포함된 패키지 형태의 잘 알려진 교육 프로그램이다. 이 연구에서 공학장애 학생들에게 적용하기 위해 직접교수법을 선택한 이유는 학생 변수보다는 교수의 교육방법이나 선정된 교재와 그 연출방식이 그들에게 가장 큰 교육적 영향을 주기 때문이다. 특히 직접교육법 프로그램은 학습이 부진한 학생들을 대상으로 한 기본 학습기능, 인지적-개념적 기술, 그리고 정의적 특성(자아개념) 부분에서 탁월한 효과를 보였고, 지금도 특수학생 교육 분야를 중심으로 가장 효과적인 교육방법 중 하나로 인정받고 있다[3,4]. 이 직접교육법의 장점과 효과를 극대화하기 위해 미국은 오레곤 주 유진 시에 <국립 직접교육기관(홈페이지 <http://www.nifdi.org/>)을 설립하고 이를 통해 각종 직접교수법 지원을 하고 있으며 다양한 프로그램을 제공하고 있다.

표 2에서 나타난 비교에서 보는 것처럼 오랫동안 과학 및 공학의 기초교육과 정책지원에서는 직접교육(direct instruction)과 탐구식(inquiry-based) 교육 사이에서 팽팽한 줄다리기 해왔고 많은 실험을 통해 직접교육 쪽으로 기울어오다가 최근에는 최첨단 교육매체들의 등장으로 그것만이 다가 아니라는 인식이 퍼지고 있는 것이 현실이다[5-7]. 그러나 여기서 탐구식 교수법은 철저히 실험에 의존하며[8,9], 실험 활동, 강의수강, 토론, 교재와 같은 교육행위에는 무관하게 학생 스스로 다 알아야 한다는 점에서 교육이 아니라 학습에 가깝다[10]. 어떤 방식이든지 기초공학 교육의 궁극적 목표

표 2. 직접교수법과 탐구식 교수법에 대한 비교

Table 2. Comparison between the Direct Instruction and Inquiry Instruction

분류	교수법	
	직접 (Direct)	탐구식 (Inquiry)
인지 및 개념 습득	크다	적다
기본내용 정립 효과	크다	적다
상대적 개념 습득	크다	적다
정량적인 지식 습득	크다	작다
전체의 체계적 설립	크다	작다
학습운동 방식	강의 지향적	실험 지향적
상대적 실험 수행 정도	작다	크다
진행 중 학생 참여 정도	작다	크다
학생 주도적 학습 성향	작다	크다

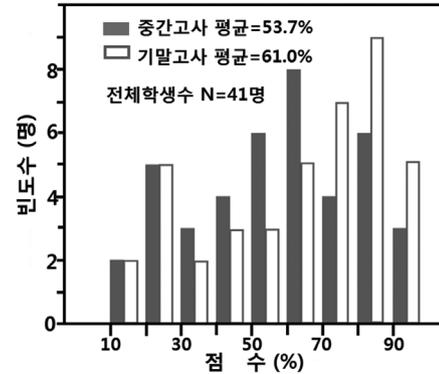


그림 1. 직접교육의 통제 하에서 얻어진 학생들의 중간고사 및 기말고사 성적분포에 따른 빈도수 분포

Fig. 1. Histogram distributions of students' scores for mid-term examination (blue bars) and final examination (red bars).

는 (1) 자연계에 대해 알아야 하고 이용할 줄 알아야 하며 (2) 과학적 근거와 설명을 이끌어내고 그들의 가치를 평가할 줄 알아야 하며 (3) 역대 과학지식에 대한 본성과 발전을 이해해야 하며 (4) 공학적 체험과 토론에 생산적으로 참여하는 것이다[11].

직접교육의 방식은 나열식 설명, 암기, 정형화된 실험종목들로 특성 지을 수 있다. 그래서 탐구식 교육을 '공학을 한다'라고 규정 짓는다면 직접교육은 '공학 교육을 한다'고 말할 수 있겠다. David Klahr은 그의 연구에서[12] 공학적 대발명을 위해 가장 중요한 것은 도전적 예측인데 이것은 깊이 있게, 오랜 기간 동안 지속적으로, 그리고 '좀 더 검증된'방법으로 문제를 해결하는 과정으로 접근해야 가능하다 라고 주장하였다. 그래서 공학에서 직접교육이던 탐구식 교육이든 모두 대발명을 지향하지만 '검증된' 방법을 판단하기 위해서는 직접교수법이 유리하다고 하겠다.

직접교수법의 특징과 원리는 크게 수업 조직, 프로그램의 교수설계, 그리고 학생-교사 상호작용 기법 측면들에서 찾을 수 있다. 이 연구에서 수업조직은 학력고사 성적이 상위 13% 이내의 비슷한 학력을 가진 41명을 한 반반으로 조직하였으며 이 프로그램의 교수설계는 미국물리학회 교육내용과 속도 및 직접교수법을 그대로 따랐고, 학생-교수 상호작용을 위해 일정량의 과제물이 매 주에 부과 되었고 수업내용과 과제에 대한 질의 및 응답시간은 한 학기 동안 항상 열려있도록 하였다. 직접교수법은 효과적인 수업조직, 교수와 학생 및 학생 상호간의 상호작용, 프로그램 내용 설계나 그 교육행위가 모두 복합적으로 효과를 결정하기 때문에 이에 대한 충분한 고려를 하였다.

그림 1에 직접교육의 통제 하에서 얻어진 학생들의 중간

고사 및 기말고사 성적분포에 따른 빈도수 분포가 나타나 있다. 중간고사와 기말고사의 평균점수는 각각 53.7%와 61.0% 이고 전체 학습 학생수는 41명이다. 중간고사보다 기말고사 때 성적이 7.3% 상승하였고 극히 저조한 (성적40% 이하) 학생을 제외한 다른 학생들에서는 기말고사에서 가우스 분포를 갖게 되어 교육의 내용이나 방식이 성공적이었음을 알 수 있다.

그림 2에서는 직접교육의 통제 하에서 얻어진 학생들의 중간고사 및 기말고사 성적분포에 따른 빈도수 분포를 그림 1과 다르게 나타냈다. 그림 2에서 보는 바와 같이 기말고사에서 전체평균이 중간고사 때보다 7.3% 향상되었음에도 불구하고 50% 이하 점수를 얻은 하위 그룹의 중간고사와 기말고사의 평균점수는 각각 29.8%와 28.2%으로서 오히려 1.6%가 감소하였고 이들에 대한 공학장애(공학치) 여부를 가리는 실험이 필요하게 되었다.

B. 공학장애자 선별과 이들에 대한 직접교육 실험

대입 입학성적이 비슷하게 입학하였고 국제적인 체계화된 직접교수법을 적용하여 교육했음에도 전혀 진전을 보이지 못하는 학생들에 대한 장애 정도와 그 이유를 규명하기 위해 새로운 시도를 하였다. 공학장애를 알아보기 위해서는 문제해결에 대한 이해력, 추리력, 기억력, 문제해결속도를 측정하는 것이다(표 1). 「공학치」에 해당하는 장애 정도를 판단하기 위해 표 3에 주어진 퀴즈를 시행하였다. 이 퀴즈는 2014년도 제1학기 <일반물리학-1>을 수강하는 무작위 일반학생을 대상으로 수행했으며 초반, 중반, 후반에 3회 진행되었고 총 100명이 참여했다. 표 3에서 주어진 [문제1]과 [문제2]는

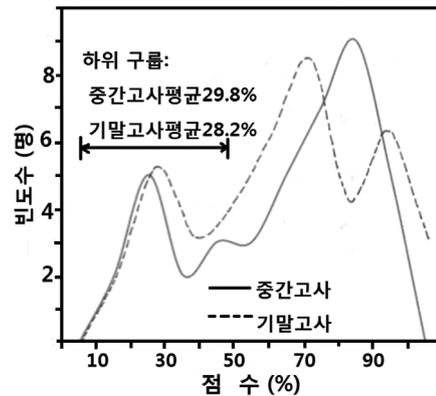


그림 2. 직접교육의 통제 하에서 얻어진 학생들의 중간고사 및 기말고사 성적분포에 따른 빈도수 분포곡선

Fig. 2. Frequencies of students' scores for mid-term examination (the solid line) and final examination (the dot line).

다른 3개의 문제 속에 숨겨져 프린트 한 다음, 수업 직전에 배포하여 50분간 수업이 진행되는 동안 충분히 생각하도록 하고 수업 종료 때 회수했으며 동일한 문제를 3차례에 걸쳐 같은 방법으로 수행하였다. 각 문제의 정답은 모두 (3)번이다. 여기서 [문제1]은 공학교육에서 문제풀이에서 널리 쓰이는 확률론적 추론 명제에 근거한 귀납법적 추론과 확률적 검정을 다룬 문제이고 [문제2]는 공학의 기본이 되는 제로(0)의 개념에 대한 이해를 알아보는 문제이다.

이 퀴즈 실험의 결과가 그림 3과 그림 4에 나타나 있다. 이것에 따르면 한 학기 수업이 진행되는 동안 지속적으로 표 3의 과정으로 문제풀이를 하였고, 지속적으로 [문제2]의 제로(0) 개념을 문제풀이 수업에서 다루었음에도 불구하고 전체

표 3. 공학 장애학생을 구별하기 위한 문제의 예시

Table 3. Problem examples for engineering-disabled students

[문제1] 다음 빈 칸에 적당한 것은?

- (1) 중력법칙을 써서 계산해 본다.
- (2) 전자의 질량을 구해본다.
- (3) 결과의 실제 타당성을 알아본다.

저항 값이 R인 단순회로에 전압 V가 붙어있다. 전류를 구하기 위해 다음의 제3단계에서 할 일은 무엇인가?

(단계1) 회로에 관한 문제이므로 오옴의 법칙 ($I=V/R$), 또는 키르히호프 법칙 $V-IR=0$ 을 대전제로 쓴다.

(단계2) 위 방정식에 주어진 값 V와 R을 대입하여 값을 구한다.

(단계3) _____

(단계4) 만약 위의 답이 실제 자연계의 값과 크게 틀리면 다시 첫 단계부터 반복 수행하여 실수를 찾아낸다.

[문제2] 다음의 표현법이 잘못된 것은?

- (1) $10^5 = 100,000$ (2) 225.32 ± 0.01 (3) $0.0005 = 10^{-4}$ (4) $0.5 + 0.13 = 0.6$

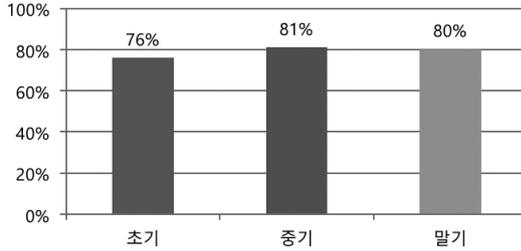


그림 3. 표1의 [문제1]에 대한 학생들의 성취도 추이(참여 학생수는 100명이다)

Fig. 3. Histograms of achievements for the Question 1 in the Table 1 (Total students attended for this research were 100 each).

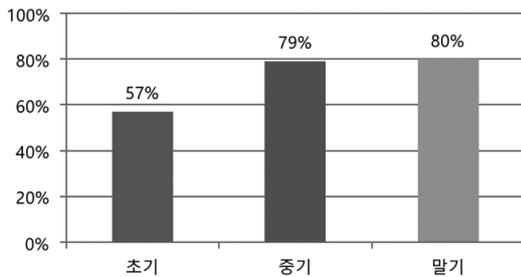


그림 4. 표1의 [문제2]에 대한 학생들의 성취도 추이(참여 학생수는 100명이다)

Fig. 4. Histograms of achievements for the Question 2 in the Table 1 (Total students attended for this research were 100 each).

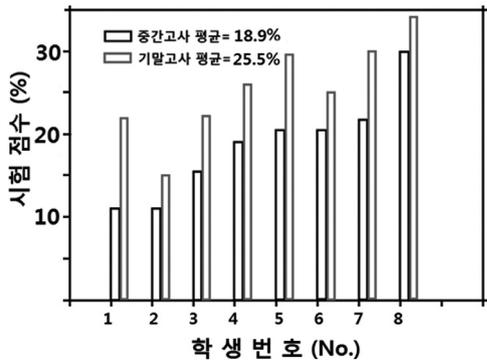


그림 5. 선정된 8명의 공학장애자들에 대한 직접교육의 통제 하에서 얻어진 중간고사(검정색 막대) 및 기말고사(빨강색 막대) 성적변화

Fig. 5. Histogram for 8 scores of engineering-disabled for mid-term examination (black bars) and final examination (red bars).

학생 중 20%는 학기말까지도 인지하지 못했음을 보여주었고 이는 수업장애를 넘어 「공학치」에 해당된다는 확신을 주었다.

공학장애 학생들에게 직접교육법을 적용하여 그 성과를

알아보기 위해서「공학치」수준의 공학장애학생들을 실험(그림 1, 그림 2)이 진행되는 반(전체 41명)에서 20%인 8명을 선정하였다. 선정된 공학장애 학생에게 직접교수법의 효과를 알아보기 위해 주당 2시간씩 여가수업을 진행했는데 부가된 학습구속들은 다음과 같다:

- (1) 다른 방식의 학습법에게도 개방되도록 하여 오직 직접교육에만 몰두하도록 하지 않았고 다만 몇 가지 중요한 학습문제에 대해 직접교수법으로 주당 1회의 보충학습(help session)을 지속적으로 수행하였다[1].
- (2) 탐구식과 구별한다는 명목으로 직접교육 방식으로 같은 내용만을 반복하지 않았고 정상인과 동일하게 진도를 맞추어 계속 새로운 내용을 습득하게 하였다. 다만 진행방식은 직접교육 방식으로 계속 진행되었다.
- (3) 평가를 위한 시험문제는 별도로 하지 않고 전체학생들과 같이 시험을 치르게 하여 교육방식에 따른 특혜를 주지 않았다.
- (4) 탐구식 교육 내용은 거의 다루지 않았고 학생 주도적 학습에 대한 개방적 사고는 보장하지 않았다.
- (5) 수업 첫 시간에 이 수업이 얼마나 어려우나와 많게는 30%가 C학점 이하를 취득한다는 사실을 미리 주지시켜 자신의 능력을 극대화할 것을 주문하였다[1].

위와 같은 구속을 가해 수업을 받은 「공학치」수준의 공학장애학생들에 대한 실험 결과가 그림 5에 나타나있다. 그들의 중간고사와 기말고사의 평균점수는 각각 18.9%와 25.5%이었고 6.6%의 증가를 보여주었다. 표 3의 퀴즈 내용과 그 결과인 그림 3, 4의 결과를 보면 이들에게 낮은 수준의 과목을 만들어 제공한다 해도 별 의미가 없음을 알 수 있다. 오히려 연구에 따르면 「공학치」학생들에 대한 적절한 교수법으로서 학습 수준(standard)을 낮추기보다는 그림, 색깔, 도선, 음향을 보조적으로 사용하고, 가급적 수식이나 공식보다는 말로 풀어 주지시키며, 문제를 그림을 그려가며 설명하고, 서서히 납득시키고, 무엇보다 그들에 대한 전담교육 담당자를 두는 것이 더 효과적이다는 것이다[1]. 그리고 「공학치」수준의 공학장애학생이 수업시간에 수준에 미달하는 질문이나 코멘트를 한다 하더라도 질문자체를 고무시키고 또한 과제를 제출했을 때마다 부족해서 꾸짖기에 앞서 일단 “잘했다, 하지만 조금 더...” 라고 말 해 줌으로서 그들이 스스로 깨칠 때까지 참을성 있게 기다릴 필요가 있는데, 이것은 선의적인 직설적 응대의 결과가 많은 학생들에게 의욕이나 성과를 깎아 내려 맞불 놓기와 같다는 최근의 심리학적 연구 때문이다[1].

마지막으로 공학에서의 직접교수법에 대한 연구가 처음 이어서 연구사례의 빈도수를 높여 결론에 대한 신뢰도를 높일 필요가 있다고 생각된다. 대규모의 학생들을 대상으로 수행되지 않았다. 또한 언어학에서의 난독증(dyslexia)처럼 공학교육에서도 「공학치」수준의 장애학생들에 대한 뇌 구조가 연구되어 올바른 교육이 되도록 할 필요가 있다고 본다.

III. 결론

41명의 학생들이 참여한 공학교육에서 널리 쓰이는 확률론적 추론 명제에 근거한 귀납법적 추론과 변수통제에 대한 학생들의 성취도와 제로 개념에 대한 성취도를 통해 약 20% 학생은 매우 심각한 공학장애자로 나타났다.

직접교육의 통제 하에서 얻어진 41명의 학생들의 중간고사 및 기말고사 성적분포에 따른 빈도수 분포. 중간고사와 기말고사의 평균점수는 각각 53.7%와 61.0%로 13.6% 증가했음에도 50% 이하 점수를 얻은 하위 그룹의 중간고사와 기말고사의 평균점수는 각각 29.8%와 28.2%로써 오히려 5.4% 감소를 나타내 모든 분반의 하위 그룹에 대한 특별교육이 부가되어야 함을 알았다. 선정된 8명의 공학장애자들에 대한 직접교육의 통제 하에서 얻어진 중간고사 및 기말고사 평균 점수는 각각 18.9%와 25.5%로써 6.6% 증가를 보였다. 이로써 물리학 수업에서 직접교수법을 적용한 결과 실효성이 있음을 입증하였다.

감사의 글

이 연구는 2014년도 한국기술교육대학교의 교수 교육연구지원 사업으로 수행되었습니다.

참고문헌

[1] L. Aguilar, G. Walton, and C. Wieman, "Psychological insights for improved physics teaching," *Physics Today*, vol. 67, no. 5, pp. 433-49, 2014.

[2] L. B. Stebbins, R. G. St. Pierre, E. C. Proper, R. B. Anderson, and T. R. Cerva, *Education as Experimentation: A Planned Variation Model*. vols. 4 A-D. Cambridge, MA: Abt Associates, 1977.

[3] G. D. Borman, G. M. Hewes, L. T. Overman, and S. Brown, "Comprehensive school reform and achievement: A meta-analysis," *Review of Educational Research Summer*, vol. 73, no. 2, pp. 125-230, 2003.

[4] R. Herman, D. Aladjem, P. McMahon, E. Masem, I. Mulligan, A. S. O'Malley, S. Quinones, A. Reeve, and D. Woodruff, *An Educator's Guide to School Reform*. Washington, DC expenditures, 1999.

[5] National Research Council, *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning*, Washington, DC: National Academy Press, 2000.

[6] American Association for the Advancement of Science. *Science for all Americans: Project 2061*, New York, NY: Oxford University Press, 1990.

[7] B. Alberts, "Considering science education," *Science*, vol. 319, no. 5870, p. 1589, 2008.

[8] U. H. Hwang, "Analysis of the deductive inference in engineering education through the experiments of elliptical trainers," *Journal of Practical Engineering Education*, vol. 5, no.1, pp.1-13, 2013.

[9] U. H. Hwang, "Variable control in inductive inference for engineering education," *Journal of Practical Engineering Education*, vol. 6, no.1, pp.1-7, 2014.

[10] J. Handelsman, D. Ebert-May, R. Beichner, P. Bruns, A. Chang, R. DeHaan, J. Gentile, S. Lauffer, J. Stewart, S. M. Tilghman, and W. B. Wood, "Scientific teaching," *Science*. vol. 304, no. 5670, pp. 521-522, 2004.

[11] B. Alberts, "Redefining science education," *Science*, vol. 323, no. 5913, p. 437, 2009.

[12] D. Klahr, *Paths of Learning and Their Consequences: Discovery learning versus direct instruction in elementary school science teaching* [Internet]. Available:<http://www.Irdc.pitt.edu/supergroup/>.

[13] D. Wechsler, *Wechsler Intelligence Scale for Children*, 4th ed. San Antonio, TX: The Psychological Corporation, 2003.

[14] G. H. Roid, *Stanford-Binet Intelligence Scales*, 5th ed. Itasca, IL: Riverside, 2003.

[15] A.S. Kaufman, and N. L. Kaufman, *Kaufman Assessment Battery for Children*, 2nd ed. Circle Pines, MN: American Guidance, 2004



황운학 (Un Hak Hwang)_정회원

1981년 2월 : 연세대학교 천체물리학 이학사

1985년 12월 : 미국 미주리대학교 물리학 석사

1989년 8월 : 미국 미주리대학교 물리학 Ph.D.

1992년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 문리HRD학부 교수

<관심분야> 플라즈마 물리학, 자유전자레이저, Thin Film Depositions, 핵융합 이론, 공학기초물리학