

해결자·청취자 활동과 몰 지도를 사용한 문제해결 교수 방법의 효과

노태희·정영선·강석진·유지연
(서울대학교)

Effects of Instructional Method Using Think-Aloud Paired Problem Solving and Mole-Map

Noh, Taehee · Jeong, Yeongseon · Kang, Sukjin · Yu, Jiyeon
(Seoul National University)

ABSTRACT

This study investigated the effects of an instructional method which consists of think-aloud paired problem solving (TAPPS) and mole-map. Three classes (100 students) of a high school were assigned to the control, the TAPPS, and the TAPPS with mole-map (M-TAPPS) groups. Prior to the instructions, students' perceptions of learning environment were examined. Tests of mole conception, problem solving ability, and perception of learning environment were administered after the instructions. Two-way ANCOVA results indicated that the high-level students in the TAPPS group performed better in the conception test than those in the control and the M-TAPPS groups. However, there was no significant difference among the three groups in problem solving ability. The scores of involvement for the TAPPS group were significantly higher than those for the control group.

Key words: think-aloud paired problem solving, mole-map, mole, stoichiometry, problem solving ability

I. 서 론

전통적으로 문제해결력은 개념 이해와 함께 과학교육의 중요한 목표였으며, 지금까지 학생들의 문제해결 과정을 분석하거나 문제해결 전략과 같은 교수 방법을 개발하는 등 다양한 연구들이 진행되어 왔다. 문제해결에 성공한 학생들과 실패한 학생들의 문제해결 과정을 비교한 연구에서, 성공자는 다양한 문제해

결 기술을 잘 사용하고, 자신의 문제해결 과정을 정확히 이해하는 특징을 보였다(Heyworth, 1999). Whimbey and Lochhead(1991)는 학생들이 스스로 사용할 수 있는 문제해결 기술을 가르치는 방법으로 해결자·청취자 활동(TAPPS: Think-Aloud Paired Problem Solving)을 제안하였다.

해결자·청취자 활동은 두 명이 짝을 지어 문제를 해결하는 것으로, 이제까지 학생들의 문제해결 과정

*2001.9.5(접수) 2002.2.5(최종 통과)

**본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(2000-2-50100-001-3) 지원으로 수행되었음

을 조사하는 방법으로 주로 사용되었던 발생사고법과 유사하다(Narode, 1987). 칭취자는 해결자의 문제해결 과정을 듣고 이해하고 질문하는 면접관의 역할을 하며, 해결자는 각 단계를 자신이 이해할 수 있는 수준의 언어로 표현하고 칭취자의 도움으로 자신의 문제해결 과정을 점검한다. 학생들은 해결자·칭취자 활동을 통해 교사가 아닌 동료의 도움으로 자신이 실제로 사용할 수 있는 수준의 문제해결 기술을 학습할 수 있다. 실제로 여러 분야에서 해결자·칭취자 활동의 교수 효과에 대한 분석이 이루어져 왔으며, 수학교육의 경우 해결자·칭취자 활동이 학생들의 성취도를 향상시키는 것으로 나타났다(Dorman, 1990).

그러나 화학에서는 해결자·칭취자 활동만으로는 학생들의 문제해결력을 향상시키는 데 부족한 것으로 보고되고 있다. 대학교 일반화학 수업에 해결자·칭취자 활동을 적용한 Pestel(1993)의 연구에서는 학생들의 문제해결력이 향상되지 않았다. 고등학생을 대상으로 한 전경문과 노태희(2001)의 연구에서는 해결자·칭취자 활동만으로는 효과가 없고, 문제해결 전략을 이용하여 해결자·칭취자 활동을 한 학생들의 전략 수행 능력이 향상되었다. 또한, 노태희 등(2001)의 연구에서는 계획과 검토를 강조한 문제해결 전략과 해결자·칭취자 활동을 사용한 결과, 학생들의 문제해결력이 향상되었다. 이러한 연구 결과들은 학생들의 문제해결력을 향상시키기 위해서는 해결자·칭취자 활동과 더불어 문제해결에 도움을 줄 수 있는 적절한 수업 전략이 병행되어야 함을 시사한다.

학생들이 화학 문제를 잘 해결하기 위해서는 우선 관련 개념에 대해 이해하는 것이 중요하다(Heyworth, 1999). Poole(1989)은 많은 화학 문제에서 몰과 화학양론이 중요한 내용이며, 몰과 화학양론 문제를 성공적으로 해결하기 위해서는 몰 개념에 대한 이해가 선행되어야 한다고 주장하였다. 이러한 면에서 Foley(1995)가 제안한 몰 지도(mole-map)는 학생들에게 몰의 개념과 양적 관계를 시각적으로 조직화함으로써 몰 개념에 대한 이해를 향상시킬 수 있는 한 가지 방법이 될 수 있다. 몰 지도와 같은 시각적 조직화는 단기 기억 용량에 미치는 부담을 덜어주므로 문제해결에도 도움을 줄 것으로 기대된다(Crippen,

Curtright, & Brooks, 2000). 따라서, 이 연구에서는 몰과 화학양론 문제해결에서 몰 지도와 해결자·칭취자 활동을 이용한 수업 방법의 효과를 조사하였다. 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

1. 통제 집단, TAPPS 집단, 몰 지도를 이용한 해결자·칭취자 활동(M-TAPPS) 집단에서 몰 개념 이해도, 화학 문제해결력, 수업 환경에 대한 인식의 차이가 있는가?
2. 몰 개념 이해도, 화학 문제해결력, 수업 환경에 대한 인식에서 수업 방법과 사전 화학 성취 수준 사이의 상호작용 효과가 있는가?

II. 연구 내용 및 방법

1. 연구 대상

서울시에 위치한 인문계 고등학교 남학생 2학년 100명을 대상으로 연구를 실시하였다. 중간고사 성적이 유사한 세 학급을 선정하여 학급별로 통제 집단, TAPPS 집단, M-TAPPS 집단으로 배치하였다. 중간고사 화학 점수의 중앙값을 기준으로 상위(50%)와 하위(50%)로 구분한 사전 화학 성취 수준별 사례수는 Table 1과 같다.

Table 1. Numbers of the subjects

	Control	TAPPS	M-TAPPS	Total
High	13	20	17	50
Low	18	15	17	50
Total	31	35	34	100

2. 연구 절차

수업 처치 이전에 사전 검사로 수업 환경에 대한 인식 검사를 실시하였다. 해결자·칭취자 활동을 하는 집단들에는 1차시의 오리엔테이션을 실시하였다. 오리엔테이션에서는 해결자·칭취자 활동을 소개하고, 이 연구에서의 대상 단원과 무관한 원자 구조에 관련된 화학 문제를 해결자·칭취자 활동을 사용하여 풀도록 하였다. 수업 처치는 몰과 화학양론 단원에

대해 4차시에 걸쳐 진행하였다. 수업을 담당하는 교사에게는 사전에 처치 집단의 교수 방법에 대하여 오리엔테이션을 제공하고, 연구 대상이 아닌 학급에서 새로운 교수 방법을 연습하게 하였다. 사후 검사로 물 개념 이해도 검사, 화학 문제해결력 검사, 수업 환경에 대한 인식 검사를 실시하였다.

3. 수업 과정

처치 집단에서 사용한 해결자·청취자 활동은 선행 연구(노태희 등, 2001; Whimbey & Lochhead, 1991)에 기초하였다. 해결자는 문제를 읽은 후 풀이 과정을 가능한 한 상세히 말로 표현하고, 청취자의 질문에 답하도록 노력한다. 청취자는 해결자의 풀이를 듣고, 이해되지 않는 부분에 대해 질문하며, 해결자가 가능한 한 상세히 풀이를 말하도록 도와준다.

청취자의 역할을 명확히 하기 위하여, 해결자의 문제 해결 과정을 점검하는 간단한 예시 문장이 제시되어 있는 청취자 카드를 사용하였다.

물 지도는 선행 연구(Foley, 1995)를 바탕으로 고안하였다. 물 지도에는 몰과 입자 수, 몰과 질량, 몰과 기체 부피의 양적 관계를 표현하였고, 화학 반응식의 계수비와 몰 수비의 양적 관계도 시각화하였다. 물 지도의 사용은 크게 세 단계로 구분할 수 있다. 첫 번째는 입자 수, 질량, 기체의 부피를 몰로 전환하기, 두 번째는 계수비에 근거하여 몰을 다른 물질의 몰로 전환하기, 세 번째는 몰을 다시 입자 수, 질량, 기체의 부피로 전환하기이다. 학생들이 문제를 풀 때마다 물 지도를 제시하였고, 문제 해결에서 필요한 단계를 물 지도에서 찾아 활동지에 쓴 후, 이를 바탕으로 문제를 풀도록 하였다.

4. 검사 도구

물 개념 검사지는 선행 연구(김도옥, 1991; Krishnan & Howe, 1994)를 참고하여 개발하였다. 이 검사는 선택 후 설명형 문항으로서, 몰과 부피, 몰과 물질의 상태, 몰과 질량, 몰과 개수의 관계에 대한 학생들의 개념을 측정하도록 구성하였다. 화학 문제해결력 검사는 몰과 화학양론에 대하여 각각 4문항씩 총 8문항을 서술형으로 개발하였다. 이 연구에서 Cronbach α 로 구한 화학 문제해결력 검사의 내적 신뢰도는 .80이었다. 물 개념 검사와 화학 문제해결력 검사는 과학교육 전문가 3인과 교사 1인에게 안면 타당도를 검증 받았다.

수업 환경에 대한 인식 검사는 Trickett와 Moos (1973)의 Classroom Environment Scale 중에서 '참여도' 범주에 해당하는 10문항과 Fraser, Anderson, Walberg(1982)가 개발한 Learning Environment Inventory 중에서 학생들이 수업 과정에서 어려움을 느끼는 정도를 측정한 '곤란도' 범주의 7문항으로 구성하였다. 이 검사들은 모두 리커트 척도로 구성되어 있으며, 이 연구에서 Cronbach α 로 구한 검사지의 신뢰도는 사전 검사에서 각각 .68과 .71이었으며, 사후 검사에서 각각 .79와 .76이었다.

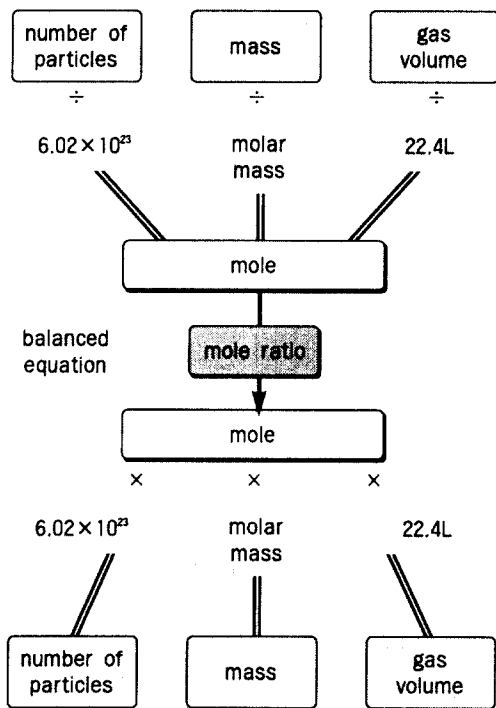


Fig. 1. mole-map

Table 2. Means and adjusted means of the conception test scores

	Control		TAPPS		M-TAPPS	
	M(SD)	Adj. M	M(SD)	Adj. M	M(SD)	Adj. M
High	3.62(2.57)	3.40	5.20(1.70)	4.87	3.12(1.58)	2.71
Low	2.22(1.99)	2.54	2.00(1.73)	2.32	2.71(1.69)	3.02
Total	2.81(2.32)	2.80	3.83(2.33)	3.95	2.91(1.62)	2.79

5. 분석 방법

몰 개념 이해도 검사는 목표 개념이 하나인 경우 2 점, 목표 개념이 두 개인 경우 3점 만점으로 채점하였다. 오답과 무응답은 0점, 이유 진술이 없거나 오개념이 포함된 진술에는 1점을 배당하였다. 목표 개념 1개를 올바르게 설명할 경우 2점을, 2개를 모두 올바르게 설명할 경우 3점을 배당하였다. 개념 이해도 검사의 채점은 2인의 연구자가 각각 채점한 후 일치도를 구하고 차이를 검토하는 과정을 반복하였다. 최종적인 채점자간 일치도가 .96에 도달한 후, 연구자 중 1인이 모든 채점을 실시하였다.

종속 변인인 몰 개념 이해도와 수업 환경에 대한 인식에서 수업 처치의 효과 및 수업 처치와 사전 화학 성취 수준 사이의 상호작용 효과를 살펴보기 위하여 이원 공변량 분석(two-way ANCOVA)을 실시하였다. 개념 점수는 중간고사 수학 성적을, 수업 환경에 대한 인식 검사 점수는 사전 검사 점수를 각각 공변인으로 사용하였다. 종속 변인과 공변인 사이의 상관은 모두 .01 수준에서 유의미하였고, 이원 공변량 분석의 기본 가정도 만족되었다. 화학 문제해결력은 모수 통계의 기본 가정 중 동변량성(homogeneity)이 만족되지 않아($F=2.51, p=.028$), 비모수 통계 방법인 Kruskal-Wallis 검증을 실시하였다.

III. 결과 및 논의

1. 개념 이해도에 미치는 효과

개념 이해도 검사 점수(9점 만점)의 평균과 교정 평균을 Table 2에, 이원 공변량 분석 결과를 Table 3에

제시하였다. 수업 처치에 따른 주효과는 유의미하지 않았지만, 수업 처치와 사전 화학 성취 수준 사이에 유의미한 상호작용 효과가 나타났다($p<.01$). 단순 효과를 검증하기 위해 일원 공변량 분석을 실시한 결과, 사전 화학 성취 수준 하위 집단에서는 집단 간 차이가 없었지만($MS=2.11, F=.66, p=.524$), 상위 집단에서는 통계적으로 유의미한 차이가 있었다($MS=22.65, F=6.74, p=.003$). 사후 검증(Tukey-Kramer)을 실시한 결과, TAPPS 집단의 상위 학생들의 점수가 통제 집단이나 M-TAPPS 집단의 상위 학생들보다 유의미하게 높았다($p<.05, Fig. 2$).

Table 3. ANCOVA results on the conception test scores

Source of variance	SS	df	MS	F	p
Covariate	24.45	1	24.45	7.48	.007*
Treatment	10.48	2	5.24	1.60	.207
Treatment × Level	35.32	2	17.66	5.40	.006*

* $p<.01$

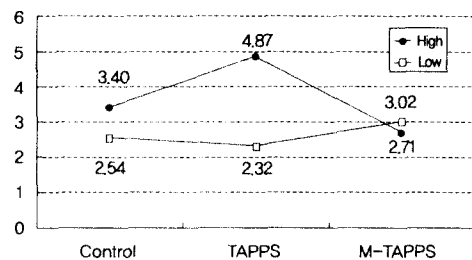


Fig. 2. Conception test scores by the previous achievement level

TAPPS 집단 상위 학생들의 개념 점수가 높았던

결과는, 문제해결 과정을 상세하게 점검하는 해결자·청취자 활동에서 일어나는 동료간의 언어적 상호작용에 기인한 것으로 볼 수 있다. 즉, 언어적 상호작용 과정에서 몰 개념에 대해 깊이 생각하게 되므로, 결과적으로 TAPPS 집단의 학생들이 통제 집단에 비해 몰 개념을 이해할 기회가 더 많았던 것으로 해석할 수 있다. 특히, 선행 연구들(전경문과 노태희, 2000; 전경문 등, 2000)에서 학습에 긍정적인 효과가 있는 것으로 보고된, 동료에게 적절한 설명 제공하거나 동료의 잘못을 지적해 주기 등의 행동이 상위 학생들에게서 많이 나타났을 것으로 생각된다.

한편, 해결자·청취자 활동과 몰 지도를 동시에 사용한 경우에는 TAPPS 집단과 달리 통제 집단과 몰 개념 이해도에 차이가 없었다. 몰 지도는 문제해결 과정에서 몰 개념과 화학 반응의 양적 관계를 시각화하여 주므로(Foley, 1995) 몰 개념에 대한 심층적인 이해를 바탕으로 활발한 해결자·청취자 활동이 일어날 것이라는 기대와 달리, 이 연구에서는 몰 지도가 개념 이해를 돕지 못하는 것으로 나타났다. 몰과 화학양론 문제는 상대적으로 알고리즘적인 성격이 강하며, 학생들도 문제를 해결할 때 알고리즘적인 경향을 많이 보인다(Tullberg *et al.*, 1994). 또한, 몰 지도와 같은 시각적인 지도는 학생들이 그 지도를 스스로 구성하는 활동으로 이어지지 못할 경우 개념의 이해나 적용에 큰 도움이 되지 못하며, 오히려 학생들에게 단순화된 알고리즘으로 작용할 수 있다(Crippen *et al.*, 2000). 따라서, M-TAPPS 집단 상위 학생들의 점수가 낮았던 결과는 몰 지도가 학생들에게 스스로 개념을 생각하고 구성하는 기회가 되기보다는, 문제에 주어진 조건을 대입하기만 하면 답을 구할 수 있는 흐름도 형태의 알고리즘으로 사용되었기 때문으로 생각할 수 있다.

2. 화학 문제해결력에 미치는 효과

화학 문제해결력 검사 점수(8점 만점)의 평균을 Table 4에 제시하였다. Kruskal-Wallis 검증 결과, TAPPS 집단과 M-TAPPS 집단의 평균이 통제 집단에 비해 높았지만 세 집단 간에는 유의미한 차이가

없었다($\chi^2=1.91$, $p=.385$). 즉, 해결자·청취자 활동과 몰 지도는 학생들의 문제해결력을 향상시키지 못하는 것으로 나타났다. 그러나 TAPPS 집단의 상위 학생들이 다른 두 집단에 비하여 다소 점수가 높은 경향이 있었으며, 이는 개념 검사의 결과와 유사하다.

Table 4. Mean scores in the chemistry problem solving ability test

	Control	TAPPS	M-TAPPS
	M(SD)	M(SD)	M(SD)
High	3.77(2.62)	4.75(1.62)	4.24(2.22)
Low	2.44(2.92)	2.00(1.41)	2.41(1.70)
Total	3.00(2.83)	3.57(2.05)	3.32(2.16)

3. 수업 환경에 대한 인식에 미치는 효과

수업 환경에 대한 인식 검사의 참여도와 곤란도 영역의 집단별 평균과 교정 평균은 Table 5와 같다. 이원 공변량 분석 결과(Table 6), 참여도 영역에서는 수업 처치에 의한 주효과가 있었으며($p<.05$), 상호작용 효과는 나타나지 않았다. Tukey-Kramer 사후 검증 결과, TAPPS 집단이 통제 집단에 비해 유의미하게 점수가 높았다($p<.05$).

즉, 해결자·청취자 활동은 사전 성취 수준과 무관하게 학생들을 수업에 참여시키는 역할을 하는 반면, 몰 지도를 사용한 집단에서는 해결자·청취자 활동이 참여도 측면에서 큰 효과를 거두지 못하는 것으로 해석된다. 이러한 결과는 해결자·청취자 활동이 유의미한 언어적인 상호작용을 유도하는 활동이므로 TAPPS 집단의 학생들은 통제 집단보다 수업에 더 많이 참여하는 반면, 몰 지도를 사용하는 M-TAPPS 집단의 학생들은 계산 과정에 몰 지도를 일종의 알고리즘으로 사용하기 때문에 질문과 제공, 지적과 수정 등과 같은 다양한 상호작용이 결여되었던 것으로 생각할 수 있다.

한편, 곤란도 영역에서는 TAPPS 집단(18.45)이 통제 집단(19.79)과 M-TAPPS 집단(19.93)에 비해 교정 평균이 낮은 경향을 보였으나, 세 집단의 점수 차이는 유의미하지 않았다. 또한, 수업 처치와 사전

Table 5. Means and adjusted means of the scores in the perception of learning environment test

	Control		TAPPS		M-TAPPS	
	M(SD)	Adj. M	M(SD)	Adj. M	M(SD)	Adj. M
Involvement(50)						
High	24.08(4.63)	24.44	26.45(4.45)	27.27	26.77(5.82)	25.52
Low	23.00(5.81)	23.94	26.53(6.23)	27.81	28.24(5.24)	26.08
Total	23.45(5.29)	24.15	26.49(5.20)	27.50	27.50(5.50)	25.78
Difficulty(28)						
High	18.62(2.53)	19.02	18.22(2.59)	18.14	19.91(3.19)	20.11
Low	20.67(3.46)	20.55	19.13(2.75)	18.70	19.71(3.97)	19.65
Total	19.81(3.23)	19.79	18.56(2.67)	18.45	19.81(3.55)	19.93

Table 6. ANCOVA results of the scores in the perception of learning environment test

Source of Variance	SS	dF	MS	F	p
Involvement					
Covariate	762.85	1	762.85	36.03	.000**
Treatment	179.93	2	89.97	4.25	.017*
Treatment × Level	5.74	2	2.87	.14	.873
Difficulty					
Covariate	87.05	1	87.05	9.62	.003**
Treatment	43.76	2	21.88	2.42	.095
Treatment × Level	15.93	2	7.96	.88	.418

**p<.01 *p<.05

화학 성취 수준 사이의 상호작용 효과도 유의미하지 않았다.

IV. 결론 및 제언

이 연구에서는 해결자·청취자 활동과 몰 지도를 사용한 문제해결 교수 방법의 효과를 알아보기 위하여 통제 집단과 해결자·청취자 집단, 몰 지도를 사용한 해결자·청취자 집단 사이의 차이를 몰 개념 이해도, 화학 문제해결력, 수업 환경에 대한 인식 측면에서 비교하였다.

연구 결과, TAPPS 집단의 상위 수준 학생들은 다른 두 집단에 비해 개념 이해도가 높았다. 해결자·

청취자 활동은 학생들의 언어적 상호작용에 기초하므로, 문제해결 과정의 점검을 통해 상위 학생들이 몰 개념을 많이 생각하게 된 것으로 보인다. 해결자·청취자 활동을 사용한 학생들의 몰 개념 이해도가 높은 이유를 구체적으로 밝히기 위해서는 학생들의 언어적 상호작용 양상에 대한 정성적인 분석이 필요하다. 한편, 몰 지도를 사용한 M-TAPPS 집단은 통제 집단과 몰 개념 이해도의 차이가 없었다. 이는 몰 지도가 알고리즘적인 성격을 띠어, 오히려 해결자와 청취자 사이의 다양한 언어적 상호작용을 방해했을 가능성을 의미한다. 따라서, 몰의 양적 관계를 시각화하는 몰 지도를 제시해 주는 것과 동시에 학생들이 몰 지도를 스스로 재구성하도록 유도할 수 있는 방안이 고려되

어야 할 것이다. 또한, 각 단계의 연결이 강조되도록 물 지도를 보다 쉽게 시각화하고, 제시된 각 단계와 물 개념을 연결시킬 수 있는 방안 역시 연구되어야 한다.

개념 이해도와 달리, 세 집단의 문제해결력 점수에는 차이가 없었다. 즉, 해결자·청취자 활동과 물 지도는 학생들의 문제해결력을 향상시키는 방안으로 부족한 것으로 나타났다. 따라서, 학생들의 문제해결 과정을 점검하여 주는 해결자·청취자 활동의 장점을 보완할 수 있는 방안에 대하여 탐색할 필요가 있다. 또한, 수업 환경에 대한 인식에서도 학생들의 사전 성취 수준과 관계없이 TAPPS 집단의 참여도 점수가 통제 집단에 비해 유의미하게 높았다. 이는 두 사람이 짝을 지어 문제를 해결하는 해결자·청취자 활동이 학생들에게 각자의 역할을 요구하므로 학생들의 참여도를 높인 것으로 해석된다. 한편, 해결자·청취자 활동을 함에도 불구하고 물 지도를 사용한 집단에서 참여도가 향상되지 않았던 결과는 물 개념 이해도의 결과 해석을 뒷받침한다.

이 연구에서 TAPPS 집단 상위 학생들의 물 개념 이해도와 참여도가 통제 집단보다 높았지만 학생들의 문제 해결력은 차이가 없었으므로, 교수 방법의 보완이 이루어져야 할 것이다. 특히, 시각적 조직화에 대해 긍정적인 결과를 보고한 선행 연구들을 고려할 때, 물 지도가 기대한 효과를 거둘 수 있는 조건에 대해 연구가 필요하다.

적 요

이 연구에서는 해결자·청취자 활동(TAPPS)과 물 지도로 구성된 문제해결 교수 방법의 효과를 조사하였다. 고등학교 3개 학급을 선정하여 통제 집단, TAPPS 집단, 물 지도를 사용한 해결자·청취자 활동(M-TAPPS) 집단으로 무선 배치하였다. 수업 전에 수업 환경에 대한 인식 검사를 실시하였다. 물 개념 검사, 문제해결력 검사, 수업 환경에 대한 인식 검사를 수업 후에 실시하였다. 이원 공변량 분석 결과, 물 개념 검사에서 TAPPS 집단의 상위 수준 학생들이 통제 집단과 M-TAPPS 집단의 상위 수준 학생

들보다 점수가 높았다. 그러나 문제해결력 검사에서는 집단간 차이가 없었다. 그리고 TAPPS 집단의 참여도가 통제 집단에 비해 유의미하게 높았다.

참 고 문 헌

- 김도욱(1991). 물 개념의 학습에서 오인을 감소시키기 위한 수업모형의 효과. 서울대학교 박사학위 논문.
- 노태희, 정영선, 김창민, 강석진(2001). 계획과 검토 단계를 강조한 문제해결 전략과 해결자·청취자 활동의 교수 효과. 한국과학교육학회지, 21(4), 738-744.
- 전경문과 노태희(2000). 해결자, 청취자 활동에서의 언어적 행동. 한국과학교육학회지, 20(4), 624-633.
- 전경문과 노태희(2001). 문제해결 전략과 해결자·청취자 활동이 고등학생의 화학 문제해결에 미치는 효과. 한국과학교육학회지, 21(2), 289-298.
- 전경문, 여경희, 노태희(2000). 협동학습 과정에서의 언어적 행동과 화학 문제해결력 사이의 관계. 한국과학교육학회지, 20(2), 234-243.
- Crippen, K. J., Curtright, R. D., & Brooks, D. W.(2000). Mole mapping: Using a graphing calculator as a tool for solving mole problem. *Science Teacher*, 67(7), 36-39.
- Dorman, N. H.(1990). *The effects of a problem-solving course on secondary school students' analytical skills, reasoning ability and scholastic aptitude*. Unpublished Doctoral Dissertation, The University of Maryland, College Park.
- Foley, K. E.(1995). *Cooperative learning and visual organizers effects on students solving mole problems in chemistry*. Unpublished Doctoral Dissertation, The State University of New Jersey.
- Fraser, B. J., Anderson, G. J., & Walberg, H. J.(1982). *Assessment of learning*

- environments: Manual for learning environment inventory (LEI) and my class inventory (MCI)* (3rd ed.). Perth: Western Australian Institute of Technology.
- Heyworth, R. M.(1999). Procedural and conceptual knowledge of expert and novice students for the solving of a basic problem in chemistry. *International Journal of Science Education*, 21(2), 195-211.
- Krishnan, S. R., & Howe, A. C.(1994). The mole concept: Developing an instrument to assess conceptual understanding. *Journal of Chemical Education*, 71(8), 653-655.
- Narode, R. B.(1987). *Pair problem-solving and metacognition in remedial college mathematics*. New York: EXXON education foundation.
- Pestel, B. C.(1993). Teaching problem solving without modeling through "thinking aloud pair problem solving". *Science Education*, 77(1), 83-94.
- Poole, R. L.(1989). Teaching stoichiometry: A two cycle approach. *Journal of Chemical Education*, 66(1), 57-58.
- Trickett, E. J., & Moos, R. H.(1973). Social environment of junior high and high school classrooms. *Journal of Educational Psychology*, 65(1), 93-102.
- Tullberg, A., Strömdahl, H., & Lybeck, L.(1994). Students' conception of 1 mol and educators' conceptions of how they teach 'the mole'. *International Journal of Science Education*, 16(2), 145-156.
- Whimbey, A., & Lochhead, J. (1991). *Problem solving and comprehension*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.