

▣ 효과적인 알코올 발효 실험을 위한 큐네 발효관의 개선 및 적용

반포고등학교 교사 조 경 주

I. 연구의 필요성 및 목적

1. 연구의 필요성

제7차 교육과정에서 효모의 알코올 발효 실험은 고등학교 과학의 「물질 대사」 - 「무산소 호흡」 단원에서, 생물 II의 「물질 대사」 - 「호흡」 단원에서 다루어지고 있고, 개정 교육과정에서는 생명 과학 I의 「항상성과 건강」 - 「세포의 생명 활동」 단원에서, 생명 과학 II의 「세포와 물질 대사」 - 「호흡」 단원에서 다루어지고 있다. 또한 전문교과 생명 과학 실험 교과서의 「알코올 발효 실험」에서도 다루어지고 있다.

알코올 발효 실험은 산소가 없는 상태에서 효모가 당을 분해하면 어떤 물질이 생성되는지를 알아보는 실험이다. 이 실험에서 발생하는 기체의 종류 및 기체의 양을 측정하기 위해서 큐네 발효관을 이용한다. 큐네 발효관을 이용한 알코올 발효 실험이 이처럼 고등학교 교육과정에서 중요하게 다루어지고 있지만 실제 큐네 발효관을 이용한 알코올 발효 실험을 수행하는 데는 해결해야하는 문제점이 있다 특히 온도를 유지하거나 온도를 변화시키면서 수행하는 발효 실험은 매우 어렵다 그 까닭은 큐네 발효관이 가지는 구조적인 문제점 때문에 그러하다

발효 실험은 35℃ 정도에서 수행했을 때 가장 반응이 활발하게 일어나는데 이 온도가 상온인 경우는 거의 없다. 보통 교육과정상 발효 실험은 4월 초에 수행하도록 되어있는데, 이때의 기온은 10~15℃ 정도이기 때문에 항온수조를 이용하여 실험을 실시해야만 한다. 그런데 항온수조에 발효관을 넣었을 때 효모 발효액의 일부만 수조에 잠겨 전체적으로 온도를 맞추기 어렵고 반응도 느리게 일어나 정해진 실험 시간 내에 실험 결과를 얻기 어렵다. 또한 받침대가 좁은 발효관은 수조 내에서 뜨기 때문에 쓰러지는 문제점이 있다

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 큐네 발효관의 구조를 개선하고자 한다.

2. 연구의 목적

본 연구는 고등학교 과학 교육과정 일정(4월 초)에 맞추어 온도에 따른 효모의 알코올 발효 속도 비교 실험 및 호흡 기질에 따른 효모의 알코올 발효 속도 비교 실험을 효과적으로 수행하고, 정해진 실험 수업 시간 내에 실험을 완료하여 교수 학습 목표를 달성하기 위하여 큐네 발효관을 개선한 새로운 발효관 개발에 목적을 둔다.

II. 연구의 설계

1. 연구 교과(영역) : 생물 II, 생명과학 II
2. 연구 단위

교육과정	영역	연구 단위
제7차 교육과정	고등학교 생물 II	II. 물질 대사 2. 호흡 - 무기 호흡
개정 교육과정	고등학교 생명과학 II	I. 세포와 물질 대사 2. 세포와 에너지 - 발효

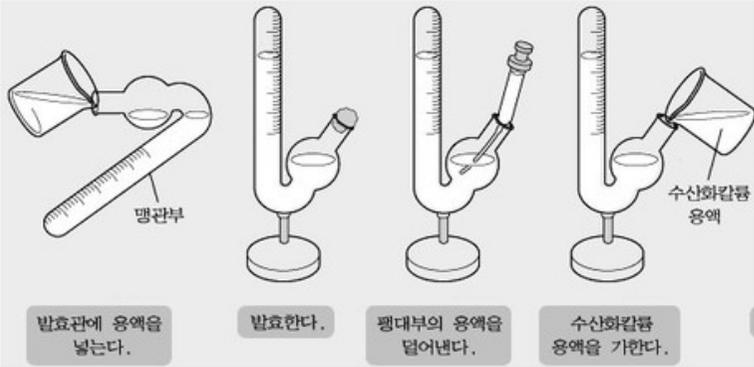
3. 연구 주제 : 효과적인 알코올 발효 실험을 위한 큐네 발효관의 개선 및 적용
4. 연구 대상 : 12학년(고등학교 3학년)
5. 연구 기간 : 2012년 4월 1일 ~ 8월 31일
6. 연구 절차

단계	내용	일정
연구 계획 수립	· 실험기구 개발 방향과 적용 방법 구성 · 연구활동 계획서 작성 및 제출	4월 01일~4월 30일
기초 자료 수집	· 제7차 교육과정과 개정 교육과정 분석 · 생물, 생명과학 교과서 내용 분석 · 기존 연구 및 개발 자료 수집, 분석	5월 01일~5월 31일
실험기구 개발	· 기존 실험에서 파악된 문제점을 토대로 다양한 개선된 발효관 개발 · 개선한 발효관 비교 분석 및 검토 · 관련 교과 교사 및 교수 자문	6월 01일~6월 30일
실험기구 적용	· 고등학교 3학년 대상으로 개발한 발효관을 적용한 실험 수행 · 적용 결과 분석 및 개선점 도출 · 관련 교과 교사 조언 청취 및 반영	7월 01일~7월 31일
연구 결과물 정리	· 연구 보고서 작성 · CD제작 · 연구 결과물 제출	8월 01일~8월 31일 9월 14일(금)

Ⅲ. 연구의 실제

1. 기존 발효관(큐네 발효관)을 이용한 현행 발효 실험

가. 현행 발효 실험의 탐구 활동지 - 교과서 내용

제 학년 반 번 모둠(조)	이름	2012년 월 일 요일 교시
실험 목표	효모가 산소가 없는 상태에서 포도당을 분해하여 어떤 물질을 생성하는지 알 수 있다.	
준비물	건조효모, 증류수, 10% 포도당 용액, 10% 수산화칼륨(KOH) 용액, 큐네 발효관, 스포이트, 솜	
과정	<ol style="list-style-type: none"> 10% 포도당 용액 50mL에 건조 효모 2g을 넣고 유리 막대로 저어 준다. 발효관에 효모가 들어 있는 포도당 용액을 발효관에 채운다. 맹관부에 기포가 들어가지 않도록 발효관을 세운 다음 입구를 솜으로 막고 채워 둔다. 맹관부에 축적되는 기체의 부피를 5분 간격으로 측정한다. 솜마개를 빼고 냄새를 맡아 본다. 팽대부의 용액을 덜어 내고, 10% 수산화칼륨(KOH) 용액 5mL를 넣은 후 발효관 입구를 막아 잘 흔든 다음 변화를 관찰한다. 	
연구	<ol style="list-style-type: none"> 발효관의 맹관부에 발생한 기체는 무엇인가? 시간에 따라 발효관에 발생한 기체의 양은 어떻게 변하는가? 효모를 첨가한 포도당 수용액에서는 어떤 냄새가 나는가? 	

나. 기존 발효관(큐네 발효관)을 이용한 실험 사진



다. 문제점

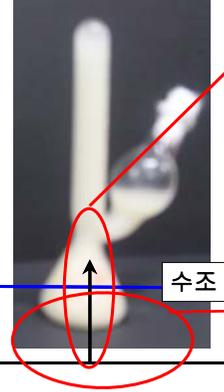
고등학교 1시간 수업 시간은 50분이며, 이에 따라 50분 내에 발효 실험을 마치기 위해서는 도입(실험 과정 설명) 10분, 전개(효모액 준비 10분, 실험 수행 20분) 30분, 결과 및 정리 10분의 시간이 필요하다.

따라서 발효 반응의 결과는 최소한 실험 시작 20분 후에는 나타나야 실험 수업을 효과적으로 완료할 수 있다.

- 1) 발효 실험은 교육과정상 4월 초에 수행되는데 이때의 평균 기온은 10℃~15℃ 정도이기 때문에 발효 반응이 거의 일어나지 않는다.
- 2) 실험 시기를 조정하여 실온 25℃ 정도일 때 실험을 수행하여도 반응의 정도가 20분이 지나도 미미하므로 효과적인 실험 수업을 할 수 없다.
- 3) 결국 정해진 시간 내에 실험 수업을 하기 위해 발효관을 항온수조에 넣어 발효가 잘 일어나는 온도(35℃ 정도)로 맞추어야 한다. 이때 기존 발효관(큐네 발효관)은 포도당과 효모의 혼합액이 거의 수조에 잠기지 않기 때문에 반응이 매우 느려 20분 내에 효과적인 결과를 얻기 힘들다.
- 4) 받침대가 좁은 기존 발효관은 발효관을 항온수조에 넣었을 때 발효관이 뜨면서 넘어지는 등 안정성이 떨어진다.
- 5) 기존 발효관은 받침대의 목 부분이 가늘어서 부러지기 쉽다.
- 6) 심화 실험으로 기질에 따른 발효 속도 비교 실험을 수행할 수 없다.

2. 1차 개선한 발효관

가. 1차 개선한 발효관의 설계

기존 발효관	문 제 점
	<ul style="list-style-type: none"> • <u>항온수조에 포도당과 효모액의 혼합액이 들어 있는 발효관이 거의 잠기지 않아서 온도 조절이 되지 않고 반응이 매우 느리다.</u> • 목이 가늘어 부러지기 쉽다. • 현재 사진과 같이 넓은 받침대로 개선된 것도 있으나, 이전 발효관은 받침대가 좁아 수조에서 쓰러지는 경우가 많다. <p><u><받침대는 지지 역할 외에 특별한 것은 없음></u></p>
개선한 발효관1	개 선 점
	<p><단점: 목이 가늘어 부러지거나 안정성이 부족></p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>항온수조에 포도당과 효모액의 혼합액이 많이 잠기도록 발효관의 받침대 부분에 용액을 담는 공간을 만든다.(잠기는 부분의 부피 25mL)</u>
개선한 발효관2	개 선 점
	<ul style="list-style-type: none"> • <u>맹관부가 있는 발효관과 받침대 부분의 공간이 일직선이 되게 조정하여 발생하는 기체가 화살표와 같이 바로 위 쪽 맹관부로 많이 갈 수 있도록 만든다.</u> <p><단점 : 목이 가는 발효관1의 단점을 보완했으나 받침대 부분이 작아서 안정성 부족></p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>발효관1과 같이 항온수조에 혼합액이 많이 잠기도록 발효관의 받침대 부분에 용액을 담는 공간을 만든다.(잠기는 부분의 부피 25mL)</u>

나. 기존 발효관과 1차 개선한 발효관 1, 2를 이용한 비교 실험

1) 실험 수업의 실제

- 가) 단원명 : 제12학년(고3) 생물Ⅱ, 물질 대사, 호흡 중 발효
- 나) 실험 주제 : 효모에 의한 알코올 발효
- 다) 수업 대상 학급 : 3학년 3개반(106명)
- 라) 수업지도안

단원	II. 물질 대사 3. 호흡 [탐구] 알코올 발효 주제 : 기존 발효관과 개선한 발효관을 이용한 발효 실험의 비교
실험 목표	<ul style="list-style-type: none"> · 발효 실험에서 반응의 최적 온도를 알 수 있다. · 기존 발효관과 개선한 발효관을 이용한 비교 실험에서 온도에 따라 반응 결과가 잘 나타난 발효관을 알 수 있다.

(1) 도입

(가) 시간 : 10분

(나) 학습내용 : 출석확인, 동기유발, 실험목표 확인, 실험과정 설명

교수-학습 내용	
교사	학생
<ul style="list-style-type: none"> · 실험 목표 설명 · 실험 과정 설명 <ul style="list-style-type: none"> - 항온수조의 온도를 15℃, 25℃, 35℃로 맞추어 놓는다. - 생효모 50g을 증류수에 녹여 500mL의 효모액을 만든다.<주의 : 건조효모는 반응이 잘 일어나지 않으므로 생효모를 사용> - 기존 발효관과 개선한 발효관 1, 2에 10% 포도당 용액과 효모액을 1 : 1로 섞은 혼합액을 각각 넣는다. - 맹관부에 기포가 들어가지 않도록 발효관을 세운 다음, 입구를 솜으로 막고, 각 온도에 해당하는 항온수조에 넣는다. - 각 발효관에서 발생된 기체(CO₂)의 양(mL)을 5분마다 측정하여 기록한다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 실험 목표를 인식한다. · 실험 과정을 숙지한다. · 실험 재료 및 기구가 실험과정 중 어디에 쓰이는지 확인한다.

(2) 전개

(가) 시간 : 30분

(나) 실험 형태 : 모둠별(조별) 활동(6~7명 한 조)

(다) 실험 수행 : 기존 발효관과 개선한 발효관을 이용한 비교 실험

교수-학습 내용	
교사	학생
<ul style="list-style-type: none"> • 실험 과정에 따라 실험을 하도록 지시하고, 순회하면서 학생들의 실험 활동을 돕는다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 실험 보고서를 참고하여 실험 과정에 따라 실험 활동을 한다. • 실험 결과를 보고서에 기록한다.

(라) 실험 활동 과정과 관찰된 발효관

항온수조	효모액 만들기	혼합액을 발효관에 붓기
		
15°C에서 반응 전 모습	25°C에서 반응 전 모습	35°C에서 반응 전 모습
		
35°C에서 반응 후 모습	실험 보고서 작성	실험 보고서 작성
		

<사진 왼쪽부터 기존 발효관(큐네 발효관), 개선한 발효관1, 개선한 발효관2>

<※ 실험 결과 기록 시 주의사항>

반응 초기에 발생한 기체의 부피를 잴 수 없는 경우는 정성적인 기록으로, 반응이 진행되어 부피를 잴 수 있는 경우는 정량적인 값을 기록할 수 있도록 한다.

(마) 실험 결과 및 연구

결과	<ul style="list-style-type: none"> • 0℃에서의 실험은 시간이 50분이 지남에도 반응이 일어나지 않았고, 45℃ 이상에서의 실험은 반응이 미미하여 기록하지 않았다. • 실험 결과는 모듬별 각 온도에서 실시한 평균값이다. • 정해진 실험 수업 시간을 고려하여 반응 결과 발생하는 기체의 양을 5분마다 20분까지 측정하여 기록하는 것으로 하였으나, 각 발효관의 반응 차이를 더 보기 위하여 35분까지 측정하였다. • 반응이 적어 발생한 기체의 부피를 잴 수 없는 경우는 -, +로 표시하고, (-)은 반응 없음을, (+)의 개수가 많을수록 기포 발생이 많은 것을 의미한다. <p>• 각 온도에서의 실험 결과<실험실 기온 : 25℃></p> <p>1. 15℃에서 각 발효관에서 발생된 기체(CO₂)의 양(mL)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>시간(분)</th> <th>큐네 발효관</th> <th>개선한 발효관1</th> <th>개선한 발효관2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>5</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>10</td><td>+</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>15</td><td>+++</td><td>++</td><td>+</td></tr> <tr><td>20</td><td>0.2</td><td>+++</td><td>++</td></tr> <tr><td>30</td><td>0.5</td><td>0.2</td><td>+++</td></tr> <tr><td>35</td><td>1.0</td><td>0.5</td><td>0.1</td></tr> </tbody> </table> <p>2. 25℃에서 각 발효관에서 발생된 기체(CO₂)의 양(mL)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>시간(분)</th> <th>큐네 발효관</th> <th>개선한 발효관1</th> <th>개선한 발효관2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>5</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>10</td><td>+</td><td>++</td><td>+</td></tr> <tr><td>15</td><td>++</td><td>+++</td><td>++</td></tr> <tr><td>20</td><td>0.1</td><td>0.2</td><td>0.1</td></tr> <tr><td>30</td><td>0.8</td><td>1.3</td><td>0.5</td></tr> <tr><td>35</td><td>1.5</td><td>2.2</td><td>1.2</td></tr> </tbody> </table> <p>3. 35℃에서 각 발효관에서 발생된 기체(CO₂)의 양(mL)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>시간(분)</th> <th>큐네 발효관</th> <th>개선한 발효관1</th> <th>개선한 발효관2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>5</td><td>-</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>10</td><td>+</td><td>0.1</td><td>+++</td></tr> <tr><td>15</td><td>+++</td><td>0.5</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>20</td><td>0.3</td><td>3.0</td><td>2.5</td></tr> <tr><td>30</td><td>1.5</td><td>7.0</td><td>5.5</td></tr> <tr><td>35</td><td>3.8</td><td>11.0</td><td>8.0</td></tr> </tbody> </table>	시간(분)	큐네 발효관	개선한 발효관1	개선한 발효관2	5	-	-	-	10	+	-	-	15	+++	++	+	20	0.2	+++	++	30	0.5	0.2	+++	35	1.0	0.5	0.1	시간(분)	큐네 발효관	개선한 발효관1	개선한 발효관2	5	-	-	-	10	+	++	+	15	++	+++	++	20	0.1	0.2	0.1	30	0.8	1.3	0.5	35	1.5	2.2	1.2	시간(분)	큐네 발효관	개선한 발효관1	개선한 발효관2	5	-	+	+	10	+	0.1	+++	15	+++	0.5	0.2	20	0.3	3.0	2.5	30	1.5	7.0	5.5	35	3.8	11.0	8.0
시간(분)	큐네 발효관	개선한 발효관1	개선한 발효관2																																																																																		
5	-	-	-																																																																																		
10	+	-	-																																																																																		
15	+++	++	+																																																																																		
20	0.2	+++	++																																																																																		
30	0.5	0.2	+++																																																																																		
35	1.0	0.5	0.1																																																																																		
시간(분)	큐네 발효관	개선한 발효관1	개선한 발효관2																																																																																		
5	-	-	-																																																																																		
10	+	++	+																																																																																		
15	++	+++	++																																																																																		
20	0.1	0.2	0.1																																																																																		
30	0.8	1.3	0.5																																																																																		
35	1.5	2.2	1.2																																																																																		
시간(분)	큐네 발효관	개선한 발효관1	개선한 발효관2																																																																																		
5	-	+	+																																																																																		
10	+	0.1	+++																																																																																		
15	+++	0.5	0.2																																																																																		
20	0.3	3.0	2.5																																																																																		
30	1.5	7.0	5.5																																																																																		
35	3.8	11.0	8.0																																																																																		
연구	<p>1. 반응이 가장 빠르게 일어난 온도는 어떻게 되는가? → 35℃</p> <p>2. 반응이 가장 빠르게 일어난 발효관은 어떤 것인가? → 35℃에서 개선한 발효관1이 가장 빠르고, 개선한 발효관2 > 기존 발효관(큐네 발효관)의 순이다.</p>																																																																																				

(3) 실험 결과 해석 및 정리

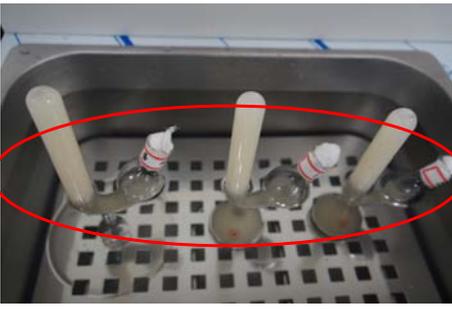
(가) 시간 : 10분

(나) 학습내용 : 실험 결과 해석, 실험 기구 및 주변 정리

교수-학습 내용	
교사	학생
<ul style="list-style-type: none"> · 실험 결과에 대하여 토의하도록 지시한다. · 토의한 내용을 정리하여 발표하도록 한다. · 토의 내용을 종합하고 실험 결과에 대한 정리를 한다. · 실험 기구 및 주변을 정리하도록 지도한다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 실험 결과에 대하여 토의한다. · 토의한 내용을 정리하여 발표한다. · 실험 보고서 작성을 마무리한다. · 실험 기구 및 주변을 정리한다.

(다) 실험 결과 해석

<사진 왼쪽부터 기존 발효관, 개선한 발효관1, 개선한 발효관2>

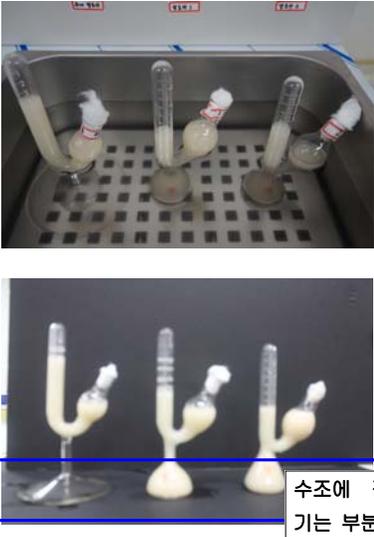
15℃에서 20분 경과 모습	결과 및 해석
	<ul style="list-style-type: none"> · <u>20분 경과시 각 발효관에서 발생하는 기체의 양은 미미하다.</u> · 35분 경과시 발생하는 기체의 양은 적은 양이지만 기존 발효관 > 발효관1 > 발효관2의 순이다. => 개선한 발효관보다 기존 발효관에서 반응이 많이 나타난 이유는 기존 발효관이 개선한 발효관보다 수조에 잠긴 부분(온도가 낮음)이 적고, 잠기지 않은 발효관이 외부 기온의 영향을 받았기 때문으로 생각된다.
25℃에서 20분 경과 모습	결과 및 해석
	<ul style="list-style-type: none"> · <u>20분 경과시 각 발효관에서 발생하는 기체의 양이 적기 때문에 상호 비교하기에는 미흡하다.</u> · 35분 경과시 각 발효관에서 발생하는 기체의 양 차이가 어느 정도 나타나며, 발생한 기체의 양은 개선한 발효관1 > 기존 발효관 > 개선한 발효관2의 순이지만 그 차이는 크지 않다.

<사진 왼쪽부터 기존 발효관, 개선한 발효관1, 개선한 발효관2>

35°C에서 30분 경과 모습		결과 및 해석
유형 1		<ul style="list-style-type: none"> • 20분 경과시 각 발효관에서 발생하는 기체의 양 차이를 구분할 수 있다. • 30분 경과시 각 발효관에서 발생하는 기체의 양 차이가 더욱 확실하게 나타나며, <u>발생된 기체의 양은 개선한 발효관2 > 발효관 1 > 기존 발효관의 순이다.</u> • 유형 1과 같은 실험 결과가 전체 실험 조(5개 조) 중 1개 조에서 나타났다.
유형 2		<ul style="list-style-type: none"> • 20분 경과시 각 발효관에서 발생하는 기체의 양 차이를 구분할 수 있다. • 30분 경과시 각 발효관에서 발생하는 기체의 양 차이가 더욱 확실하게 나타나며, <u>발생된 기체의 양은 개선한 발효관1 > 발효관 2 > 기존 발효관의 순이다.</u> • 유형 2와 같은 실험 결과가 전체 실험 조(5개 조) 중 4개 조에서 나타났다.



<사진 왼쪽부터 기존 발효관, 개선한 발효관1, 개선한 발효관2>

유형 1과 2의 실험 결과 차이가 생기는 이유 - 추론	
	<ul style="list-style-type: none"> • 이 실험 결과에 영향을 미치는 변인(뒤에 언급)은 매우 많기 때문에 유형 1과 2의 결과 차이가 나타났다고 볼 수 있는데, <u>대부분의 실험 결과가 유형 2와 같이 나왔으므로 유형 2의 실험 결과를 유의미한 실험으로 받아들였다.</u> • 개선한 발효관1과 2는 수조에 잠긴 부분의 용량이 25mL로 같지만, 발효관2는 발생한 기체가 바로 맹관부로 이동할 수 있는 구조로 개선한 발효관 2가 1보다 더 빠른 반응이 나타날 것으로 예상하였으나 결과는 반대였다. 이는 수조에 잠긴 부분의 표면적이 발효관1이 2보다 커서 열 전달이 혼합액에 더 빨리 이루어짐으로써 반응이 더 빨리 일어난 것으로 추론하였다.

(라) 실험상의 문제점

1. 실험 결과에 영향을 미치는 변인이 너무 많아 이들을 모두 통제하고 실험하는 것은 불가능하다.

이 실험은 발효관의 구조와 온도에 따른 발효 실험이므로 발효관의 구조와 온도는 독립 변인(조작 변인)으로 변화시키는 변인이지만, 나머지 변인은 통제해야만 실험 결과를 보다 정확하게 얻을 수 있다.

온도에 따른 발효 실험에서 실험 결과에 영향을 미치는 변인들을 살펴보면, 다음과 같다.

① 발효관의 구조(모양), ② 효모액과 포도당 용액의 농도와 양, ③ 항온 수조의 온도 유지 범위와 수조 내 물의 양, ④ 냉·온방 장치의 가동 여부에 따른 실내 온도 차이, ⑤ 발효관에 혼합액을 넣을 때 시간에 따른 온도 변화, ⑥ 기타

2. 발효관의 온도를 유지하기 위해서는 발효관 전체가 수조에 잠기고 뚜껑이 닫혀야 한다.

발효관의 구조상 발효관의 일부분만 수조에 잠길 수밖에 없으며, 또한 발효관의 높이가 높아서 수조의 뚜껑을 닫을 수 없는 것이 문제이다. 특히, 기존 발효관(큐네 발효관)은 수조에 거의 잠기지 않기 때문에 바깥 기온에 더 많은 영향을 받는 것으로 실험 결과가 나타났다. 개선한 발효관은 받침대 부분이 혼합액을 담는 용기 역할을 함으로써 온도 조절을 다소 쉽게 하고 발효 반응이 보다 빠르게 일어나도록 기대한 것이다.

3. 개선한 발효관 1, 2의 안정성에 문제가 있었다.

15℃, 25℃일 때는 20분 경과 시에도 모든 발효관에서 반응 결과가 분명하게 나타나지 않았다. 다만 35℃일 때 20분 경과 시 개선한 발효관에서 반응의 결과가 분명하게 나타나는데, 그 이후에는 반응이 매우 빨리 일어나 혼합액이 팽대부로 빠르게 이동하면서 발효관의 무게 중심이 변하여 개선한 발효관의 일부가 넘어지는 안정성 문제가 야기되었다. 또한, 발효관 1은 목이 가늘어 다룰 때 파손의 우려도 있다.

(마) 결론 및 제언

1. 개선한 발효관 1이 다른 발효관에 비해 발효 반응에 최적인 온도를 알 수 있는데 유용하다.

이 실험의 목표는 발효 반응의 최적 온도를 찾고, 최적 온도에서 어떤 발효관이 교육과정에 부합한 실험 수업을 할 수 있는가에 있다.

온도에 따른 발효 실험을 정확하게 수행하기 위해서는 실험 결과에 영향을 미치는 변인이 통제되어야 하는데 이 실험에서는 변인이 많고, 통제 또한 어렵다. 그런데, 개선한 발효관1은 다른 발효관에 비해 온도에 따른 발효 반응의 결과가 분명하게 나타나므로 발효 반응에 최적인 온도를 알 수 있는데 가장 유용하다.

2. 개선한 발효관 1이 다른 발효관에 비해 고등학교 50분 실험 수업에 가장 적합하다.

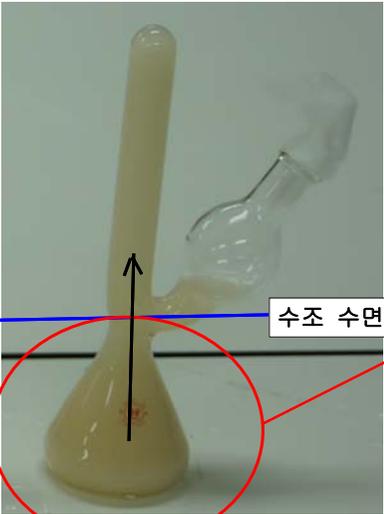
앞에서 언급한 바 있듯이, 고등학교 1시간 수업 시간은 50분이며, 이에 따라 50분 내에 발효 실험을 마치기 위해서는 도입(실험 과정 설명) 10분, 전개(효모액 준비 10분, 실험 수행 20분) 30분, 결과 및 정리 10분의 시간이 필요하다. 따라서 발효 반응의 결과가 최소한 실험 시작 20분 후에는 나타나야 실험 수업을 완료할 수 있다. 15℃, 25℃일 때는 20분 경과 시에도 모든 발효관이 분명한 실험 결과가 나타나지 않았다. 다만, 35℃일 때 20분 경과 시 발효관 1이 다른 발효관에 비해 반응의 결과가 가장 분명하게 나타났다.

3. 개선한 발효관 1보다 반응이 빠르고, 안정성도 갖춘 새로운 발효관의 개발이 필요하다.

앞에서 언급했듯이 개선한 발효관 1이 발효관 2보다 반응이 빠른 이유는 발효관 1의 혼합액이 발효관 2보다 수조에 잠긴 부분의 표면적이 더 넓어서 열 전달이 더 빠르기 때문으로 추론한 바 있다. 이러한 점을 반영하여 발효 실험을 보다 효과적으로 수행하기 위해서는 수조에 잠긴 부분의 표면적을 더 넓히고 안정성도 부여하는 새로운 발효관 개발이 필요하다.

3. 2차 개선한 발효관

가. 발효관의 비교 및 2차 개선한 발효관의 설계

기존 발효관	1차 개선한 발효관1	1차 개선한 발효관2	2차 개선한 발효관3
			
2차 개선한 발효관 3		개 선 점	
		<ul style="list-style-type: none"> • 개선한 발효관 1의 단점인 목을 없애고 발효관 2와 같이 맹관부가 있는 발효관과 받침대 부분의 공간이 일직선이 되게 하여 발생하는 기체가 화살표와 같이 위쪽 맹관부로 많이 이동할 수 있도록 만든다. • 받침대 부분의 공간을 1차 개선한 발효관보다 크게 하여 안정성을 부여하고, 항온 수조에 혼합액이 많이 잠기게 하여(발효관1, 2는 25mL, 발효관 3은 45mL) 잠긴 부분의 표면적이 발효관 1보다 넓게 함으로써 발효 반응이 빨리 일어나도록 기대한다. 	

나. 기존 발효관, 1차 개선한 발효관1, 2차 개선한 발효관3을 이용한 비교 실험

1) 실험 수업의 실제

가) 단원명 : 제12학년(고3) 생물Ⅱ, 물질 대사, 호흡 중 발효

나) 실험 주제 : 효모에 의한 알코올 발효

다) 수업 대상 학급 : 3학년 3개반(106명)

라) 수업지도안

단원	Ⅱ. 물질 대사 3. 호흡 [탐구] 알코올 발효 주제 : 기존 발효관과 개선한 발효관을 이용한 발효 실험의 비교
실험 목표	<ul style="list-style-type: none"> 기존 발효관과 개선한 발효관을 이용하여 발효 반응에 최적인 온도를 알 수 있다. 기존 발효관과 개선한 발효관을 이용하여 최적 온도에서 가장 실험 수업에 적합한 발효관을 알 수 있다.

(1) 도입

(가) 시간 : 10분

(나) 학습내용 : 출석확인, 동기유발, 실험목표 확인, 실험과정 설명

교수-학습 내용	
교사	학생
<ul style="list-style-type: none"> 실험 목표 설명 실험 과정 설명 <ul style="list-style-type: none"> 항온수조의 온도를 15℃, 25℃, 35℃로 맞추어 놓는다. 생효모 50g을 증류수에 녹여 500mL의 효모액을 만든다. 기존 발효관, 1차 개선한 발효관 1, 2차 개선한 발효관 3에 각각 10% 포도당 용액과 효모액을 섞은 혼합액을 넣는다. 맹관부에 기포가 들어가지 않도록 발효관을 세운 다음, 입구를 솜으로 막고, 각 온도에 해당하는 항온수조에 넣는다. 각 발효관에서 발생된 기체(CO₂)의 양(mL)을 5분마다 측정하여 기록한다. 	<ul style="list-style-type: none"> 실험 목표를 인식한다. 실험 과정을 숙지한다. 실험 재료 및 기구가 실험 과정 중 어디에 쓰이는지 확인한다.

(2) 전개

(가) 시간 : 30분

(나) 실험 형태 : 모둠별(조별) 활동(6~7명 한 조)

(다) 실험 수행 : 기존 발효관과 개선한 발효관을 이용한 비교 실험

교수-학습 내용	
교사	학생
<ul style="list-style-type: none"> • 실험 과정에 따라 실험을 하도록 지시하고, 순회하면서 학생들의 실험 활동을 돕는다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 실험 보고서를 참고하여 실험 과정에 따라 실험 활동을 한다. • 실험 결과를 보고서에 기록한다.

(라) 실험 활동 과정과 관찰된 발효관

실험 활동	실험 활동
	
실험 활동	항온 수조와 발효관
	

<사진에서 왼쪽부터 기존 발효관(큐네 발효관), 개선한 발효관 1, 개선한 발효관 3>

<※ 실험 결과 기록 시 주의사항>

반응 초기에 발생한 기체의 부피를 잴 수 없는 경우는 정성적인 기록으로, 반응이 진행되어 부피를 잴 수 있는 경우는 정량적인 값을 기록할 수 있도록 한다.

(마) 실험 결과 및 연구

결과	<ul style="list-style-type: none"> • 0℃에서의 실험은 시간이 50분이 지남에도 반응이 일어나지 않았고, 45℃ 이상에서의 실험은 반응이 미미하여 기록하지 않았다. • 실험 결과는 모듬별 각 온도에서 실시한 평균값이다. • 정해진 실험 수업 시간을 고려하여 반응 결과 발생하는 기체의 양을 5분마다 20분까지 측정하여 기록하는 것으로 하였다. • 반응이 적어 발생한 기체의 부피를 잴 수 없는 경우는 -, +로 표시하고, (-)은 반응 없음을, (+)의 개수가 많을수록 기포 발생이 많은 것을 의미한다. <p>• 각 온도에서의 실험 결과<실험실 기온 : 25℃></p> <p>1. 15℃에서 각 발효관에서 발생된 기체(CO₂)의 양(mL)</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>시간(분)</th> <th>큐네 발효관</th> <th>1차 개선한 발효관1</th> <th>2차 개선한 발효관3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>+</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>+++</td> <td>++</td> <td>++</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>0.3</td> <td>+++</td> <td>+++</td> </tr> </tbody> </table> <p>2. 25℃에서 각 발효관에서 발생된 기체(CO₂)의 양(mL)</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>시간(분)</th> <th>큐네 발효관</th> <th>1차 개선한 발효관1</th> <th>2차 개선한 발효관3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>++</td> <td>++</td> <td>++</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>+++</td> <td>+++</td> <td>+++</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>0.1</td> <td>0.2</td> <td>0.5</td> </tr> </tbody> </table> <p>3. 35℃에서 각 발효관에서 발생된 기체(CO₂)의 양(mL)</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>시간(분)</th> <th>큐네 발효관</th> <th>1차 개선한 발효관1</th> <th>2차 개선한 발효관3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5</td> <td>-</td> <td>++</td> <td>+++</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>++</td> <td>0.1</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>+++</td> <td>0.7</td> <td>2.2</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>0.3</td> <td>3.8</td> <td>9.6</td> </tr> </tbody> </table>	시간(분)	큐네 발효관	1차 개선한 발효관1	2차 개선한 발효관3	5	-	-	-	10	+	-	-	15	+++	++	++	20	0.3	+++	+++	시간(분)	큐네 발효관	1차 개선한 발효관1	2차 개선한 발효관3	5	-	-	-	10	++	++	++	15	+++	+++	+++	20	0.1	0.2	0.5	시간(분)	큐네 발효관	1차 개선한 발효관1	2차 개선한 발효관3	5	-	++	+++	10	++	0.1	0.4	15	+++	0.7	2.2	20	0.3	3.8	9.6
시간(분)	큐네 발효관	1차 개선한 발효관1	2차 개선한 발효관3																																																										
5	-	-	-																																																										
10	+	-	-																																																										
15	+++	++	++																																																										
20	0.3	+++	+++																																																										
시간(분)	큐네 발효관	1차 개선한 발효관1	2차 개선한 발효관3																																																										
5	-	-	-																																																										
10	++	++	++																																																										
15	+++	+++	+++																																																										
20	0.1	0.2	0.5																																																										
시간(분)	큐네 발효관	1차 개선한 발효관1	2차 개선한 발효관3																																																										
5	-	++	+++																																																										
10	++	0.1	0.4																																																										
15	+++	0.7	2.2																																																										
20	0.3	3.8	9.6																																																										
연구	<p>1. 반응이 가장 빠르게 일어나는 온도는 어떻게 되는가? → 35℃</p> <p>2. 반응이 가장 빠르게 일어나는 발효관은 어떤 것인가? → 35℃에서 개선한 발효관3이 가장 반응이 빠르게 일어났으며, 개선한 발효관1 > 기존 발효관(큐네 발효관)의 순이다.</p>																																																												

(3) 실험 결과 해석 및 정리

(가) 시간 : 10분

(나) 학습내용 : 실험 결과 해석, 실험 기구 및 주변 정리

교수-학습 내용	
교사	학생
<ul style="list-style-type: none"> • 실험 결과에 대하여 토의하도록 지시한다. • 토의한 내용을 정리하여 발표하도록 한다. • 토의 내용을 종합하고 실험 결과에 대한 정리를 한다. • 실험 기구 및 주변을 정리하도록 지도한다. . 	<ul style="list-style-type: none"> • 실험 결과에 대하여 토의한다. • 토의한 내용을 정리하여 발표한다. • 실험 보고서 작성을 마무리한다. • 실험 기구 및 주변을 정리한다.

(다) 실험 결과 해석

<사진 왼쪽부터 기존 발효관, 1차 개선한 발효관 1, 2차 개선한 발효관 3>

15°C에서 20분 경과 모습	결과 및 해석
	<ul style="list-style-type: none"> • <u>20분 경과시 각 발효관에서 발생하는 기체의 양은 적은 양이지만 기존 발효관 > 1차 개선한 발효관1 > 2차 개선한 발효관3의 순이다.</u> => 개선한 발효관보다 기존 발효관에서 반응이 많이 나타난 이유는 기존 발효관이 개선한 발효관보다 수조에 잠긴 부분(온도가 낮음)이 적고, <u>잡기 지 않은 발효관이 외부 기온의 영향을 받았기 때문</u>으로 생각된다.

<사진 왼쪽부터 기존 발효관, 1차 개선한 발효관 1, 2차 개선한 발효관 3>

25°C에서 20분 경과 모습	결과 및 해석
	<ul style="list-style-type: none"> • 20분 경과시 각 발효관에서 발생하는 기체의 양 차이가 어느 정도 나타나는데, 발생한 기체의 양은 <u>1차 개선한 발효관1 > 기존 발효관 > 2차 개선한 발효관3의 순이지만 그 차이는 크지 않다.</u>

<사진 왼쪽부터 기존 발효관, 1차 개선한 발효관 1, 2차 개선한 발효관 3>

35℃에서 15분 경과 모습	결과 및 해석
	<ul style="list-style-type: none"> • 15분 경과시 각 발효관에서 발생되는 기체의 양 차이가 확실하게 나타나며, 발생된 기체의 양은 2차 개선한 발효관3 > 1차 개선한 발효관1 > 기존 발효관의 순이다.
35℃에서 20분 경과 모습	결과 및 해석
	<ul style="list-style-type: none"> • 15분과 20분 사이에 반응이 매우 빠르게 일어난다. • 20분 경과시 각 발효관에서 발생되는 기체의 양 차이가 더욱 확실하게 나타나며, 발생된 기체의 양은 2차 개선한 발효관3 > 1차 개선한 발효관1 > 기존 발효관의 순이다.

(라) 결론 및 제언

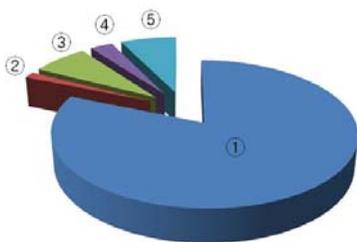
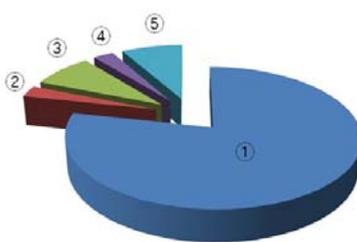
1. 2차 개선한 발효관3이 안정성도 우수하고 교육과정상 고등학교 1시간 실험 수업을 수행하는 데 가장 적합하다.
 고등학교 1시간 수업 시간은 50분이며, 이에 따라 50분 내에 발효 실험을 마치기 위해서는 도입(실험 과정 설명) 10분, 전개(효모액 준비 10분, 실험 수행 20분) 30분, 결과 및 정리 10분의 시간이 필요하다. 따라서 발효 반응의 결과가 최소한 실험 시작 20분 후에는 나타나야 실험 수업을 완료할 수 있다. 그런데, 2차 개선한 발효관3은 35℃일 때 시간이 지남에 따라 다른 발효관에 비해 반응의 결과가 가장 분명하게 나타났다.
2. 2차 개선한 발효관3을 이용하면 온도에 따른 발효 실험을 정량적으로 수행할 수 있으며, 35℃에서 기질(포도당, 설탕, 갈락토오스)에 따른 발효 실험도 좋은 결과를 얻을 수 있다고 본다.
3. 2차 개선한 발효관3은 새로 개발된 기구로 경제성이 다소 떨어지지만 다량 보급된다면 경제성도 좋아질 수 있다고 본다.

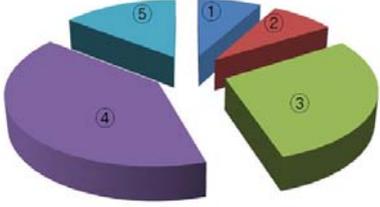
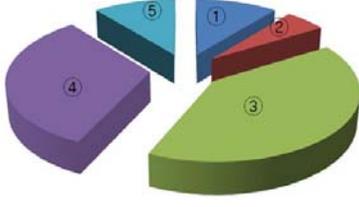
4. 실험 수업 시간 적용 결과 비교

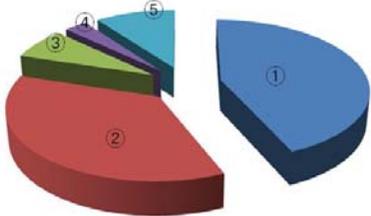
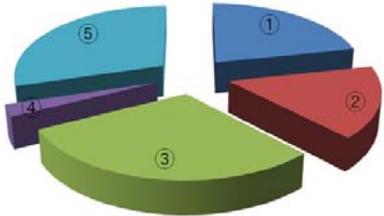
가. 비교 대상 학급

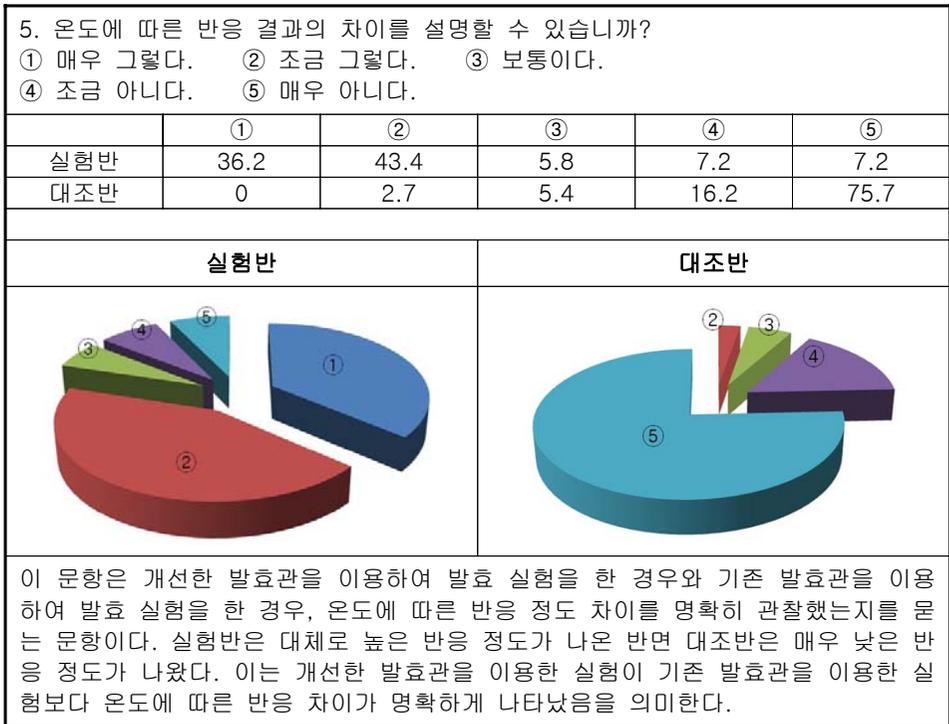
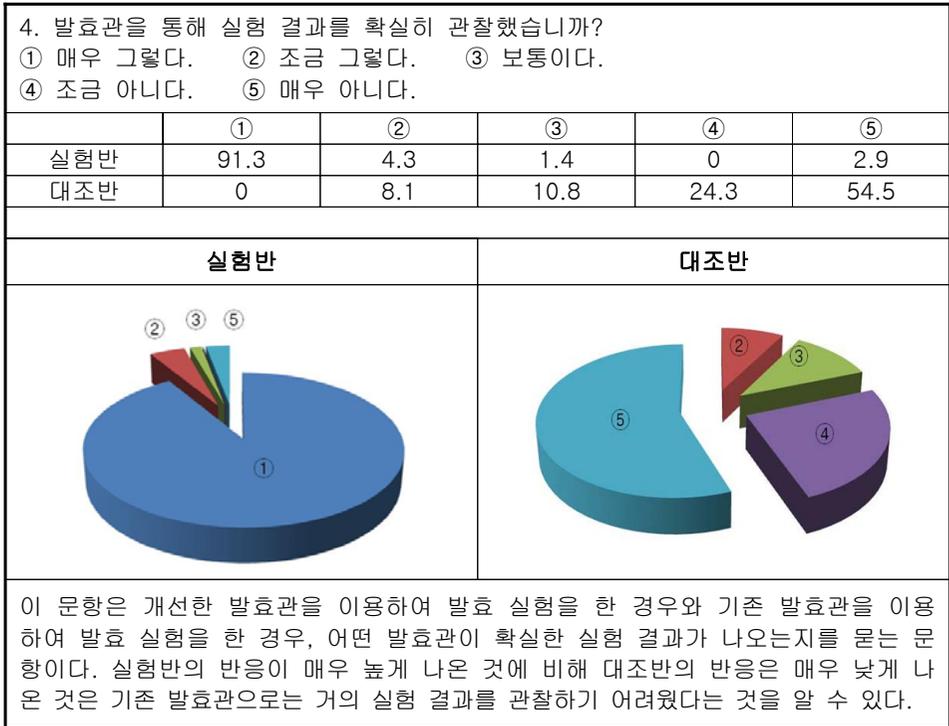
- 1) 실험반 : 3학년 10반(36명), 3학년 11반(33명)을 대상으로 기존 발효관과 개선한 발효관을 이용하여 발효 결과를 비교하는 실험 수업을 진행함
- 2) 대조반 : 3학년 9반(37명)을 대상으로 기존 발효관으로만 교과서 내용 그대로 발효 실험 수업을 진행함

나. 문항별 설문조사 결과 비교

1. 발효 실험 결과 발생하는 기체는 무엇입니까? ① 이산화탄소(CO ₂) ② 일산화탄소(CO) ③ 산소(O ₂) ④ 질소(N ₂) ⑤ 암모니아(NH ₃)					
	①	②	③	④	⑤
실험반	81.2	1.4	7.2	2.9	7.2
대조반	78.4	2.7	8.1	2.7	8.1
실험반			대조반		
					
<p>이 문항은 개선한 발효관을 이용하여 발효 실험을 한 경우와 기존 발효관을 이용하여 발효 실험을 한 경우에 발생하는 기체의 종류를 알고 있는지를 묻는 문항이다. 즉 알코올 발효의 개념을 알고 있는지를 묻는 문항이다. 평소 수업 내용을 알고 있는 학생이라면 답할 수 있는 관계로, 실험반과 대조반의 차이가 거의 나지 않는 것을 알 수 있다.</p>					

2. 이 실험을 밀폐된 발효관에서 수행하는 이유를 설명할 수 있습니까?					
① 매우 그렇다. ② 조금 그렇다. ③ 보통이다. ④ 조금 아니다. ⑤ 매우 아니다.					
	①	②	③	④	⑤
실험반	7.2	7.2	26.1	36.2	13.0
대조반	10.8	5.4	40.5	32.4	10.8
실험반			대조반		
					
이 문항은 발효 실험에서 밀폐된 발효관을 이용하는 것은 산소를 차단하기 위한 것, 즉 발효가 무기 호흡의 일종이라는 개념을 알고 있는지 묻는 문항이다. 물음에 비해 매우 쉬운 개념임에도 불구하고 문항의 의미를 제대로 파악하지 못하여 실험반과 대조반 모두 대체로 반응 정도가 낮게 나와 있음을 알 수 있다.					

3. 발효 실험 수업에 흥미를 느꼈습니까?					
① 매우 그렇다. ② 조금 그렇다. ③ 보통이다. ④ 조금 아니다. ⑤ 매우 아니다.					
	①	②	③	④	⑤
실험반	43.5	36.2	7.2	2.9	10.1
대조반	21.6	16.2	29.8	2.7	29.7
실험반			대조반		
					
이 문항은 개선한 발효관을 이용하여 발효 실험을 한 경우와 기존 발효관을 이용하여 발효 실험을 한 경우에 발효 실험 수행 과정에서 호기심, 흥미 등의 자극을 유발할 수 있는 변화가 나타나는지 묻는 문항이다. 대조반에 비해 실험반의 반응 정도가 대체로 높게 나온 것으로 보아 개선한 발효관을 이용한 발효 실험에서 학생들을 자극할 수 있는 변화가 나타났음을 의미한다. 즉 개선한 발효관에서의 실험이 기존 발효관에서의 실험보다 효과적이었음을 알 수 있다.					



V. 활용 및 교육적 효과

1. 활용

- 가. 개선한 발효관을 항온수조와 함께 이용하면 교육과정에 따라 4월 초에도 1시간 분량의 수업 시간 내에 발효 실험을 효과적으로 수행할 수 있다.
- 나. 개선한 발효관을 이용하여 온도에 따른 발효 실험 비교를 효과적으로 수행할 수 있다.
- 다. 개선한 발효관을 이용하여 기질에 따른 발효 실험 비교를 효과적으로 수행할 수 있다.
- 라. 개선한 발효관을 이용하면 발효 과정에서 다량의 기체가 발생하여 맹관부에 많이 포집되므로 KOH를 이용하여 기체가 이산화탄소(CO_2)임을 쉽게 확인할 수 있다.

2. 교육적 효과

- 가. 개선한 발효관은 반응이 빨리 일어나기 때문에 실험 수업에 대한 학생들의 흥미를 유발할 수 있다.
- 나. 학생들의 호기심을 자극하여 앞으로 학습하게 될 실험에 대한 관심과 집중도를 높일 수 있다.
- 다. 효과적인 실험 수업이 이루어져 교과 개념을 확실히 이해하고 생물 수업의 성취도를 향상시킬 수 있다.