



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

푸드테크학사 학위논문

국내 중소규모 수제맥주 양조장
운영을 위한 Plant Optimazation

2023년 8월

서울대학교 대학원
푸드테크학과 푸드테크학전공
문혁기

국내 중소규모 수제맥주 양조장 운영을 위한 Plant Optimazation

지도교수 이 기 원

이 논문을 푸드테크학 석사 학위논문으로 제출함
2023년 6월

서울대학교 대학원
푸드테크학과
문 혁 기

문혁기의 석사 학위논문을 인준함
2023년 6월

위 원 장 이 성 주 (인)

부위원장 이 기 원 (인)

위 원 장 재 호 (인)

국문초록

국내 중소규모 수제맥주 양조장은 금전적, 물리적 한계로 인해 생산 효율이 좋지 않으며, 대기업과 달리 공정 수준이 낮아 품질 관리에도 어려움이 존재한다. 이러한 한계점을 극복하지 못하면 수제맥주사의 지속적인 발전을 기대하기 어려울 것이다. 본 논문에서는 공정 최적화를 통해 각 사업장별 숨은 기회요인을 탐색하고, 다품종에 대한 동일 품질 유지 방법에 대한 연구를 진행했다. Sour 맥주 제조 공정을 개선하여 기존 대비 약 240%의 효율증가를 얻었으며, 발효 공정 개선을 통해 이취 지표물질인 VDK 함량을 기존 대비 3배이상 감소시킬 수 있었다. 또한, 제품 생산 중 사용하는 CO₂ 가스의 불필요한 사용량을 조정하여 품질을 유지하면서 사용량을 약 19.85% 감소하여 원가를 절감하였다. 본 연구를 진행하며 추가적인 개선점을 확인하였으며, 향후 유틸리티 사용량 감소에 집중하여 추가 연구 진행이 필요하다고 판단된다.

주요어 : 맥주 품질, 설비 최적화, 공정 개선, Off-flavor 제어, 수율 향상, 원가 절감, 수제맥주 양조장

학 번 : 2021-3753

목 차

List of tables	iv
List of figures	iv
List of abbreviations and symbols	v
제 1 장 국내 수제맥주 시장 현황	1
제 1 절 주류제조면허 현황	1
제 2 절 국내 수제맥주 제조의 한계	3
1. 사용 원료의 차이	3
2. 소규모 양조장의 물리적 한계	4
3. 다품종 수제맥주 품질보증의 한계	4
제 2 장 수제맥주 제조를 위한 공정 개선	7
제 1 절 Sour 맥주 제조를 위한 공정 개선	7
1. Sour 맥주 제조 공정의 이해	7
2. 공정 개선 활동	8
제 2 절 Off flavor 개선을 위한 공정 개선	10
1. 맥주 제조 공정 중 발행하는 이취	10
2. VDK 제어 방법 탐색	12
3. 시험법	12
4. 공정 개선 방법	17
제 3 절 CO₂ 사용량 개선을 통한 원가 절감	20
1. 주입기 CO ₂ 사용 원가 절감 요인 분석	20
2. Bubble breaker 제거 전/후 용존 산소량 비교	21
3. Gassing turret CO ₂ 사용량 조정	22

제 3 장 결론	23
제 1 절 중소규모 수제맥주 생산 효율 증가	23
제 2 절 추가 개선사항 확인	23
참고문헌	25
Abstract	26

List of tables

[표 1-1] 맥주 종류별 소비 비중	2
[표 1-2] 대기업과 수제맥주 양조장의 맥주 원료 차이	3
[표 1-3] 연간 생산량에 따른 분석 장비 구매 가이드라인	5
[표 2-1] Bubble breaker 제거 전/후, 완제품 용존산소량 비교	21
[표 2-2] Gassing turret parameter 조건값 변경에 따른 완제품 용존산소량 비교	22
[표 1-3] 연간 생산량에 따른 분석 장비 구매 가이드라인	5

List of figures

[그림 1-1] 국내 주류제조면허 현황	1
[그림 1-2] 국내 수제맥주 시장규모 및 제조업체 현황	2
[그림 2-1] LAB 대사경로	7
[그림 2-2] Sour 공정 개선 전/후 모식도	9
[그림 2-3] (e)-2-Nonenal 발생기전	10
[그림 2-4] 양조효모의 발효대사 과정 중, VDK 형성 메커니즘	11
[그림 2-5] Fishbone diagram - VDK	12
[그림 2-6] 표준물질 희석배수 모식도	16
[그림 2-7] 발효시간 경과에 따른 VDK 함량 및 Plato 값	18
[그림 2-8] 발효 공정 조건 변경	19

List of abbreviations and symbols

capa. : capacity

MOQ : minimum order quantity

LAB: lactic acid bacteria

VDK: vicinal diketones

E2N or T2N: (E)-2-nonenal or Trans-2-nonenal)

hL: hectoliter

sol. : solution

reag. : reagent

rpm : rotations per minute

D.D.W.: deionized distilled water

ppm : parts per million

ppb : parts per billion

abs. : absorbance

conc. : concentration

hr. : hour

sec. : second

DO : dissolved oxygen

제 1 장 국내 수제맥주 시장 현황

제 1 절 주류제조면허 현황

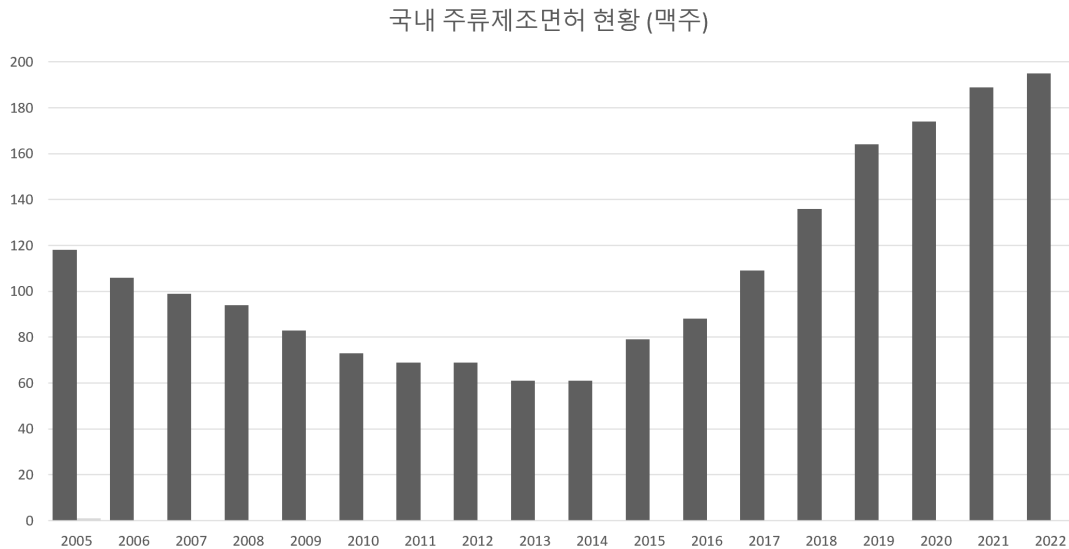


그림 1-1. 국내 주류제조면허 현황(맥주, 2005 ~ 2022)

통계청 국가통계포털 자료에 의하면, 국내 주류제조면허 현황은 2013년까지 꾸준한 감소 추세를 보이거나, 2014년을 기준으로 증가하여 4년 만에 2005년도 수치를 뛰어 넘어, 그 증가 추세는 대폭 상향된 것으로 보인다.

국내 소비자의 맥주에 대한 관심이 증가하며, 이에 따라 국내 수제 맥주 양조장이 점차 늘어나기 시작한다. 한국소비자원 보고서에 따르면 2015년부터 국내 수제맥주 시장규모는 빠르게 성장하였으며, 이에 맞춰 수제맥주 제조업체 또한 자연스럽게 증가한 것을 확인할 수 있다.

수제맥주 양조장은 일반적으로 대기업에서 제조하고 있는 라거 타입 맥주가 아닌 다양한 장르의 맥주 양조를 시도하여 한국 맥주 문화에 다양한 시도를 하였으며, 소비자들 또한 일반적인 대기업 맥주가 아닌 맛

국내 수제맥주 시장규모 및 제조업체 현황

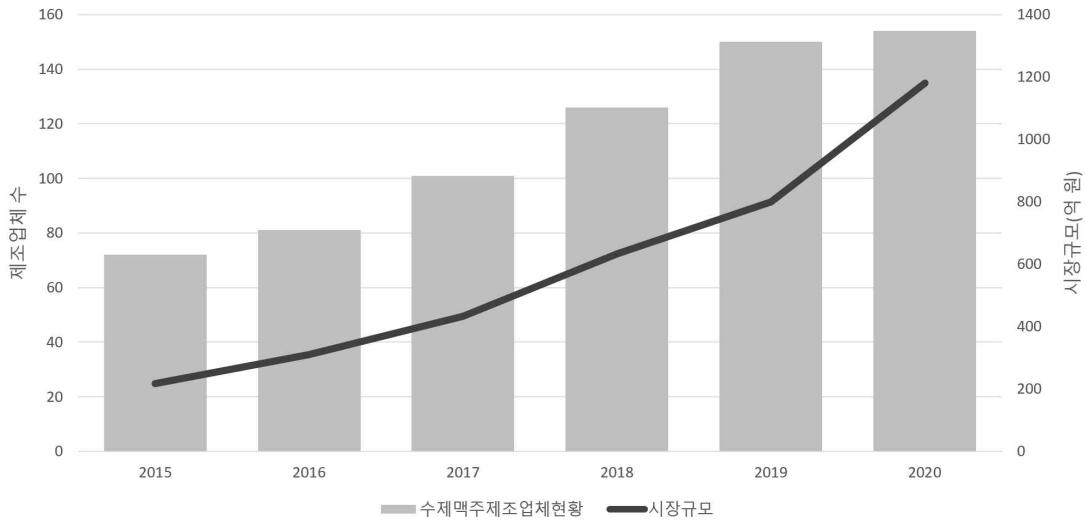


그림 1-2. 국내 수제맥주 시장규모 및 제조업체 현황

에 변화가 있는 다양한 맥주의 수요가 증가하였다. 하지만 수제맥주 양조장의 물리적 한계로 인한 가격 경쟁력이 부족한 것이 사실이다.

(단위: 백만원, %)

구분	캔	페트	병	드럼	합계
매출액	2,198,917	582,847	295,511	3,753	3,081,028
소비 비중	71.4	18.9	9.6	0.1	100

※ 2019년 소매점 매출액 기준 자료

표 1-1. 맥주 종류별 소비 비중

2019년 국내 소매점 매출액을 기준, 위 표와 같이 캔의 소비 비중이 가장 높은 것을 확인할 수 있다. 국내 수제맥주 양조장은 대부분 케그(드럼)제품이며, 대기업의 유통 경로보다 훨씬 국한적이기 때문에, 국내 수제맥주 시장규모를 확대하기 위해서는 대기업과 같이 ‘캔’ 제품을 생산하는 것이 선택이 아닌 필수가 되었다. 하지만, 국내에 있는 대부분의 수제맥주 양조장은 캔, 병 등 다른 포장단위의 제품을 생산할 수 있는 설비가 존재하지 않으며, 증설 공사를 진행하더라도 설비 설치 공간이 부족하다. 이렇게 물리적으로 한계점이 존재하게 된다.

제 2 절 국내 수제맥주 제조의 한계

국내 수제맥주 제조에는 분명한 한계점이 있다. 먼저 대기업과 사용하는 원료 및 공정 차이로 인한 제조원가 차이가 발생하며, 앞서 기술한 것과 같이 공간적인 제약으로 인한 공정의 한계, 그 외에도 다품종 동일 품질유지를 위한 품질보증의 한계 등, 다양한 한계가 존재한다.

1. 사용 원료의 차이

수제맥주 양조장의 양조사들이 추구하는 맥주의 방향은 대기업과 차이점이 있다. 필수는 아니지만 수제맥주 양조장은 대부분 All-malt 맥주 양조를 추구한다. 대기업은 공정 수율 향상 및 원가 절감을 위해 원재료에 전분을 사용하는 제품이 있다.

번호	성분 및 원료		비고
	타사 제품	제주 펠롱 에일	
1	정제수	정제수	
2	맥아	보리맥아	
3	옥수수전분	효모	
4	이산화탄소	호프펠렛	
5	황산칼슘	황산칼슘	
6	변성호프추출물	염화칼슘	
7	효소제	황산아연	
8	젖산	이산화탄소	
9	호프추출물		
10	황산아연		
11	효모		

표 1-2. 대기업과 수제맥주 양조장의 맥주 원료 차이

맥아로부터 얻을 수 있는 추출물에는 한계가 있기 때문에, 전분과 효소제를 이용하여 추출물 수율을 높이고 있다. 이로 인해 제조원가의 차이가 발생하고, 수제맥주 양조장에서 해당 공정을 적용하기 위해서는 추가적인 설비투자를 요구한다.

2. 소규모 양조장의 물리적 한계

공간, capa., 수율, 원·부자재 MOQ 등 수많은 한계점이 있지만, 제 1 절에서 설명한 것과 같이, 생산 설비 공간 부족이 가장 큰 문제이다. 국내 소비 비중이 캔이 가장 크기 때문에, 소규모 양조장에서 캔 제품생산을 고려하더라도, 설비를 설치할 공간이 부족하기 때문에 쉽게 접근하기 어렵다. 캔 제조 설비를 설계 당시부터 적용하여 생산이 가능한 일부 업체도 있지만, capa., 수율 관리 등 2차적인 문제점이 당연 존재한다. 이렇게 크고 작은 물리적 한계들을 해결하기 위해 중·소규모 양조장에 맞춰 plant optimization을 진행하여 그 한계의 폭을 좁혀야 한다.

3. 다품종 수제맥주 품질보증의 한계

수제맥주 양조장은 대기업과 비교하여 좀 더 다양한 품종의 맥주를 생산한다. 품종이 많다는 것은 그만큼 품질적으로 관리포인트가 증가하는 것을 의미한다. 하지만, 대부분의 수제맥주 양조장은 품질분석 전담 부서가 별도로 존재하지 않으며, 존재하더라도 그 규모가 작고, 최소한의 기준으로 운영 관리한다. 인력 운영에도 분명한 한계가 존재하며, 생산량 대비 품질 보증 부서 운영에 필요한 초기 투자비용이 큰 부분도 있다.

공정 운영에도 다양한 문제가 있으며, 수제맥주 양조장은 대기업에서 일반적으로 사용하지 않는 공정이 존재한다. 제주맥주 주식회사의 제품 중 ‘제주 펠롱 에일’은 dry hopping 공정이 존재하며, 해당 공정은 호프펠렛을 투입하는 시점이 기존 양조 공정과 차이가 있다. 호프펠렛은 보통 끓임 공정에 투입되지만, 본 공정은 발효 공정 이후 투입되기 때문에, 수율 및 품질유지에 문제가 발생한다. 국내에서는 조금 생소한 sour 맥주 제조 공정도 일반적이지 않다. 추가적인 공정이 존재하면 해당 공정에 대한 관리점도 자연스럽게 발생하며, 다양한 이슈에 대해 품질보증에 쉽지 않은 것이 사실이다.

수제맥주 양조장은 다양한 제품군으로 소비자가 선택할 수 있다는 장점을 가지고 있지만, 동일한 품질을 제공하지 못하면, 수제맥주사의 지

속적인 발전을 기대하기 어려울 것이다.

hL	Volume Produced per Year					
	< 1590	1590 ~ 23850	23850 ~ 47700	47700 ~ 95400	95400 ~ 143100	143100 <
Intrument & Equipment						
General						
Thermometer						
Packaged Beer Archive Sheiving						
Refrigerator / Cooler						
Waterbath						
Lab Informatics System						
Raw Materials and Packaging						
Crimp Gauge						
Torque Meter						
Double-seam Gauges						
Double-seam Cross-section Imager						
Analytical Balance or Top-Loading Scale						
Grist Sieves						
Sieve Shaker						
Friability Meter						
Drying Oven						
Mash Bath						
Universal Lab Disk Mill						
Chemistry						
Hydrometer						
pH Meter						
CO2 Meter						
Low-Range Oxygen Meter (ppb)						
Digital Density Meter						
Distillation Equipment						
Alcohol Meter						
UV-Vis. Spectrophotometer						
Centrifuge						
Shaker Table and/or Wrist Shaker						
Fumehood						
Titration Burette						
Turbidimeter of Haze Meter						
Gas Chromatograph						
Foam Meter						
High-Range Oxygen Meter (ppm)						
Microbiology						
Microscope						
Hemocytometer						
ATP Luminometer						
Autoclave or Pressure Cooker						
Incubator with CO2 Packs, or Anaerobic Incubator						
Vacuum Apparatus						
Sitr Plate / Hot Plate						
Laminar Flow Hood						
Thermocycler & PCR-relatec equipment						
Sensory						
Quality Assurance Analysis						
Sensory Training						
Descriptive Analysis						
Difference Testing						
Threshold Sensory						
Dedicated Tasting Area						

 Optional Purchase

 Recommended to be purchased

※ American Society of Brewing Chemists guidelines 자료

표 1-3. 연간 생산량에 따른 분석 장비 구매 가이드라인

앞서 서술한 것과 같이 주류 시장변화에 적응하여 맞춰 나가기 위해 제주맥주 양조장의 한계점을 개선하여 소비자에게 고품질 다품종 맥주를 지속 제공 할 수 있도록하며, 더 나아가 원가 절감 요인을 확인하여 궁극적으로 운영이익을 얻는 것이 본 연구의 목적이다.

제 2 장 수제 맥주 제조를 위한 공정 개선

제 1 절 Sour 맥주 제조를 위한 공정 개선

1. Sour 맥주 제조 공정의 이해

Sour 맥주는 이름에서 알 수 있듯이 신맛이 나는 맥주를 말한다. Sour 맥주는 제조방법에 따라 스타일이 세부적으로 나뉘지만, 본 논문에서는 Lactic acid bacteria(이하 LAB)를 이용한 스타일만 다루고자 한다. Sour 맥주 제조 시, 사용되는 대표적인 균주는 *Lactobacillus*, *Pediococcus* 등이 있으며, LAB의 대사경로는 다음과 같다.

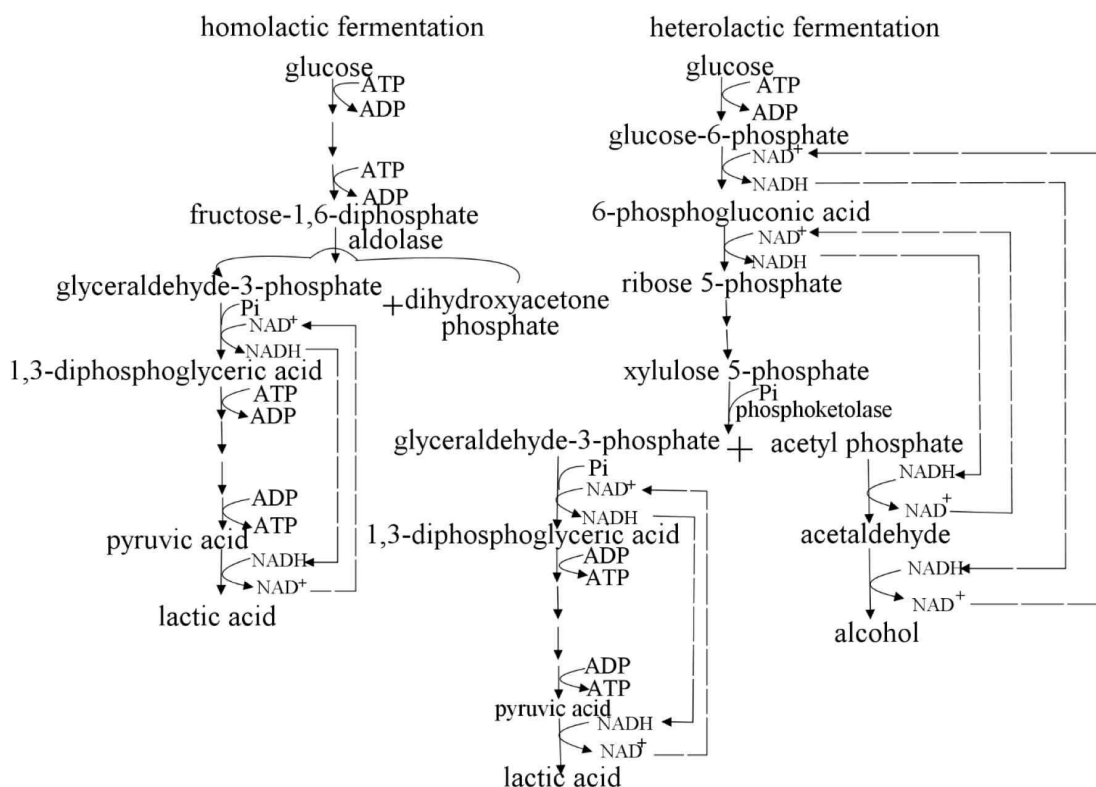


그림 2-1. LAB 대사경로(좌: 동형젖산발효 / 우: 이형젖산발효)

Sour 맥주를 제조하는 방법은 크게 두 가지로 나뉜다.

첫째, 당화공정에서 얻은 맥즙에 LAB를 투입하여 유산발효를 진행하는 방법. 둘째, 유산발효를 별도로 진행한 뒤, 일반 맥즙에 투입(희석)하는 방법.

두 방법은 공정관리 및 수율면에서 큰 장단점이 있다.

첫번째 방법은 자비조에서 끓임 공정 전, LAB를 투입하여 유산발효를 진행해야하기 때문에 발효 종료까지 추가적인 담금 공정을 진행할 수 없다. 담금 공정이 연속으로 진행되지 않으면, 수율면에서 큰 손해를 입을 수 밖에 없다. 그리고, 유산발효 공정 종료 시점을 특정하기 어려워, 양조사가 원하는 유산 농도를 맞추기 어렵다는 단점이 있다. 여러 단점이 존재하지만, 공정관리가 편하다는 장점이 있다.

두번째 방법은 첫번째 방법의 단점을 모두 보완할 수 있다. 별도의 유산 발효조를 운영하여 자비조에서 얻은 맥즙에 유산 농도를 알고 있는 맥즙을 추가함으로써, 품질관리가 간편하며, 투입이 종료되면 이어서 자비공정을 바로 진행할 수 있기 때문에, 연속공정이 가능하다. 하지만, 유산 발효조를 별도로 운영해야한다는 불편함과, 공정 추가로 인한 관리구역이 늘어난다는 단점이 존재한다.

국내 크래프트 양조장 대부분은 공장 설계 단계에서 sour 공정을 고려하지 않기 때문에, 첫번째 방법을 이용하여 sour 맥주를 제조한다.

제주맥주 양조장은 앞서 서술한 두 가지 방법 중, 첫번째에 해당되며, 자비조에 유산균을 투입하여 유산발효를 진행하면, 발효 종료까지 약 72시간 정도의 시간이 소요되는 것을 확인할 수 있었다. 3일간 담금 공정이 진행되지 못하면, 담금 공정 capa.를 적용하여 약 33담금 공정의 손해가 발생한다. 그리고, 유산발효가 종료되기까지 주기를 정하여 산도 측정을 계속 진행 해야하기 때문에, 작업자의 부담도 증가한다.

2. 공정 개선 활동

현재 공정에서 개선 가능 유무를 검토하였으며, 본 연구에서 Pilot

설비를 유산발효조로 이용하면 설비 개선이 가능하다고 판단했다.

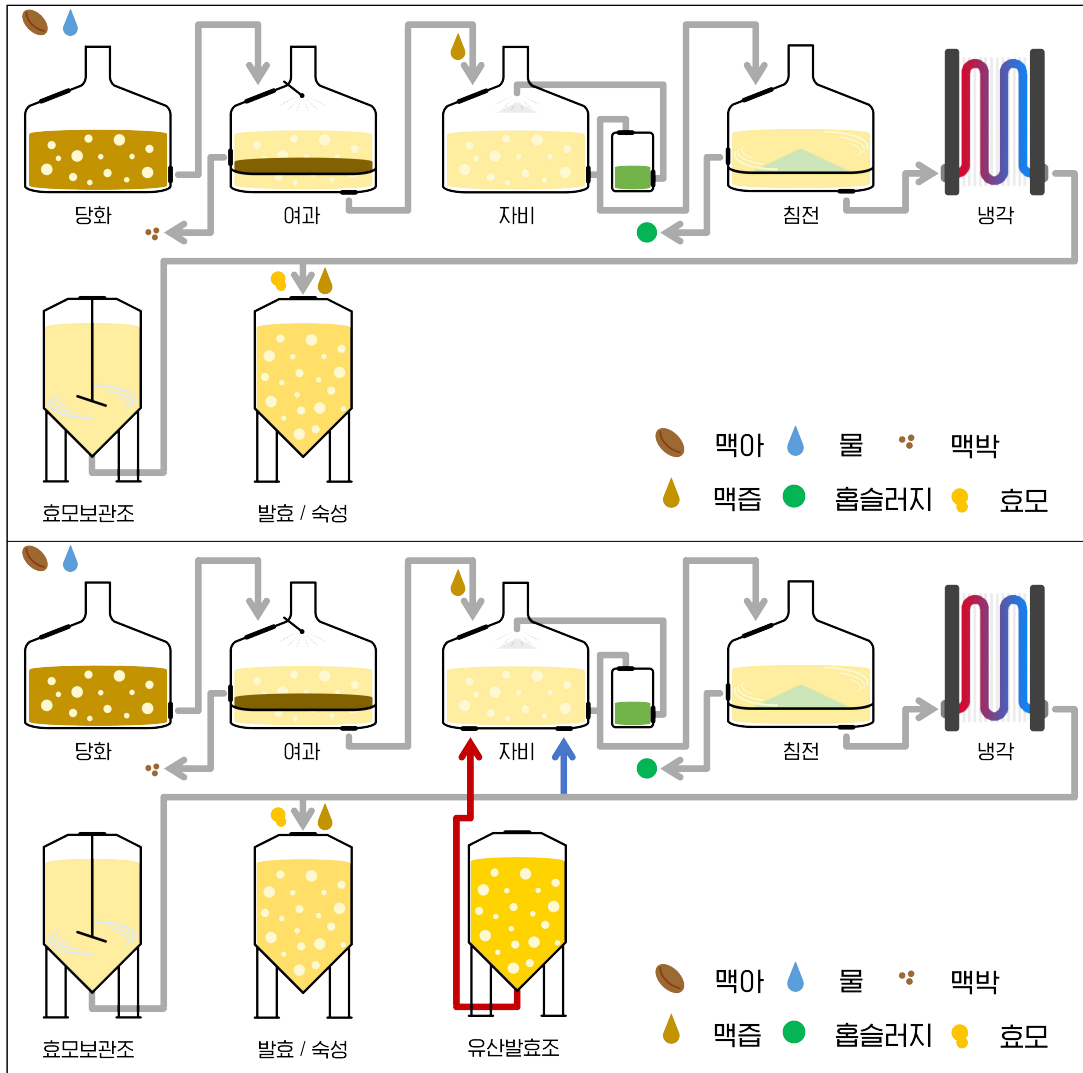


그림 2-2. Sour 공정 개선 전/후 모식도 (상: 개선 전 / 하: 개선 후)

제 2 절 Off flavor 개선을 위한 공정 개선

1. 맥주 제조 공정 중 발생하는 이취

맥주 제조 공정 중 발생하는 이취의 종류는 매우 다양하며, 본 논문에서 모두 다루기는 어렵다.

수제맥주 양조장의 제조 공정 중 제어가 가능한 대표 이취는, VDK (Vicinal diketones) 및 (E)-2-nonenal(또는 Trans-2-nonenal)라고 판단된다.

(E)-2-nonenal 성분은 맥주 안에 포함 된, 불포화 지방산의 산화로 인해 발생하는 대표적인 이취로, 산화취라고 불린다.

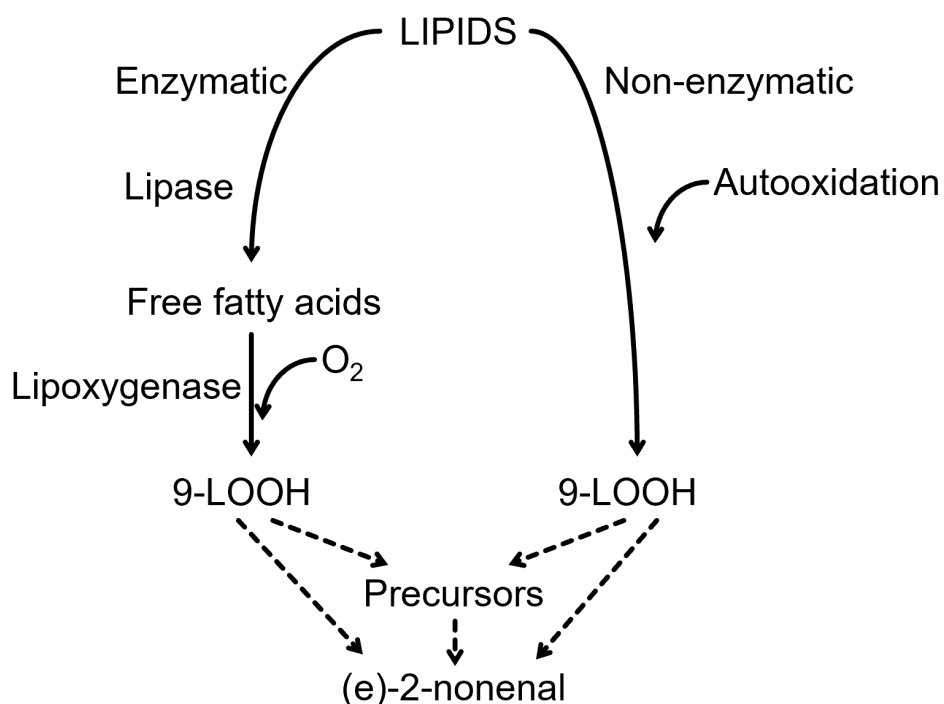


그림 2-3. (e)-2-nonenal 발생 기전

해당 이취의 경우 제주맥주 양조장 설계 당시 고려한 부분으로, 현재 제어가 가능하다.

VDK의 경우, 양조 효모의 발효 공정 중 자연스럽게 발생하는 이취로, 아미노산 (발린)을 합성하는 과정에서 파생된 전구체인 α -acetolactate를 거쳐 세포 밖에서 형성된다. 발린은 발효 초기 효모의 단백질 합성에 우선적으로 필요하지만 아미노산 흡수 순서 B그룹에 속해 있어 효모로부터 먼저 흡수될 수 없다. VDK는 대사과정 중 자연스럽게 생성되는 물질이나, 이취로 적용되기 때문에 공정 중, 효모가 자연스럽게 흡수할 수 있도록 제어방법을 모색해야한다.

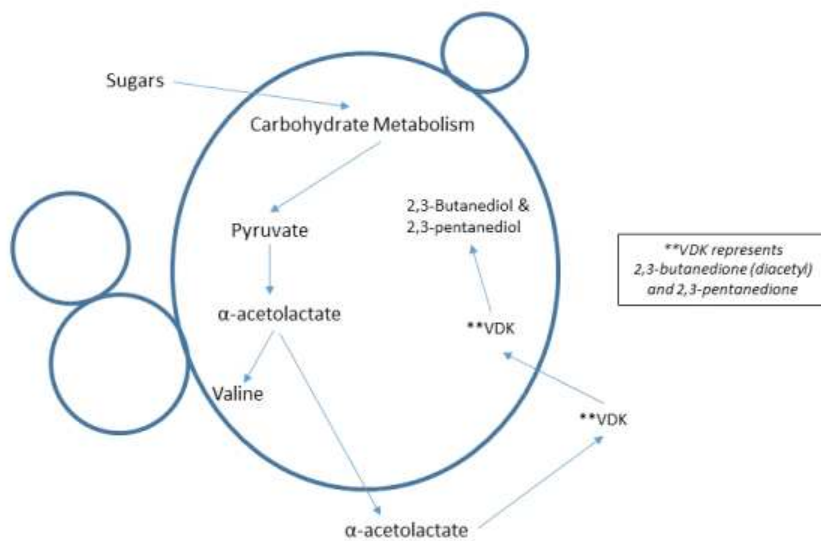


그림 2-4. 양조효모의 발효대사 과정 중, VDK형성 메커니즘¹⁾

해당 성분을 분석하기 위해 분석장비가 필요하다. 대기업의 경우 발효 공정 제어를 해당 물질을 지표로 하여 관리하며, 분석은 Gas chromatography를 이용한 정량 분석이 일반적이나, 국내 수제맥주 양조장에서 본 장비를 사용하기에는 많은 제약이 따른다.

제주맥주 양조장 또한 마찬가지이며, 현재 갖추고 있는 분석장비를 활용하여 정량분석이 가능한지 검토한 결과, Spectrophotometer 및 증

1) ASBC method - Beer 25. 발취

류장치를 활용하여 비색측정이 가능하다고 판단했다.

2. VDK 제어 방법 탐색

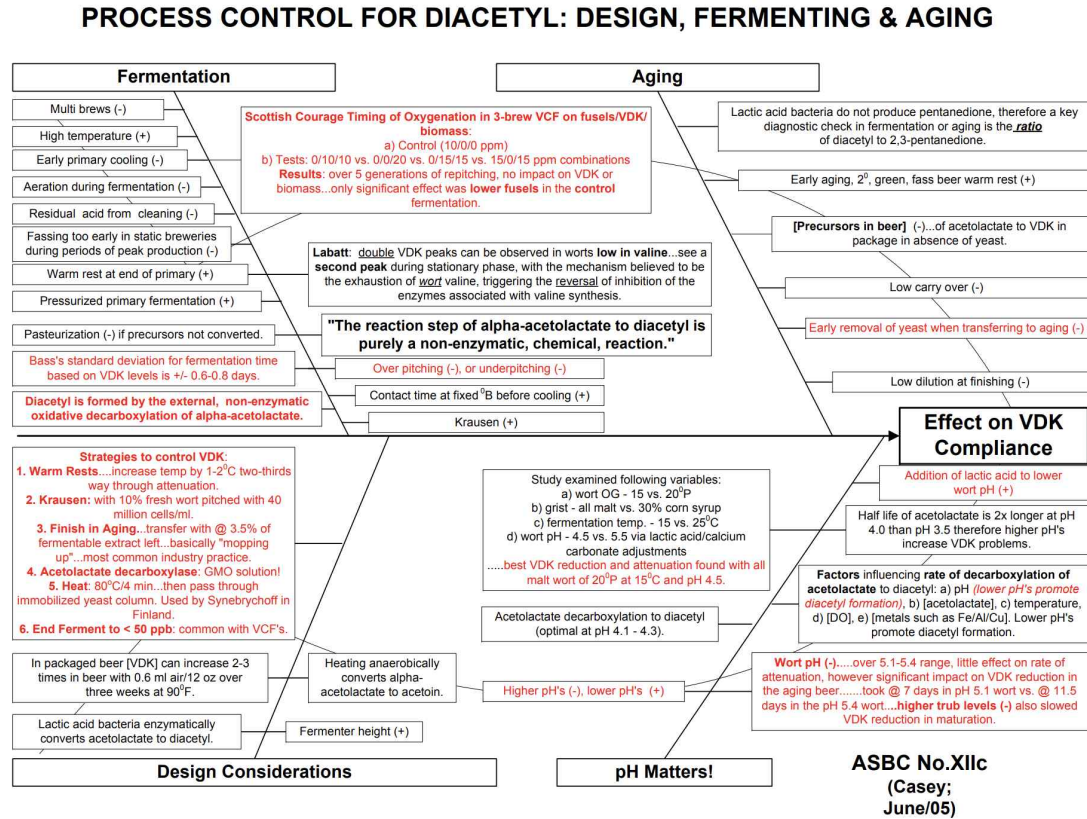


그림 2-5. Fishbone diagram - VDK²⁾

ASBC에서 제공하는 fishbone diagram을 바탕으로 우리가 제어할 수 있는 공정이 무엇인지 확인하였으며, 본 연구에서 발효 공정 중 VDK rest 작업을 통해 해당 물질을 제어할 수 있음을 확인하였다.

3. 시험법

3.1. 기구 및 시약

2) ASBC fishbone diagram 발취

- 1) α -Naphthol, CAS# 90-15-3.
- 2) Isopropanol, 95%, CAS# 67-63-0.
- 3) Activated carbon, CAS# 744-44-0.
- 4) Creatine, CAS# 6020-87-7.
- 5) Potassium hydroxide, CAS# 1310-58-3.
- 6) Diacetyl, 99%, CAS# 431-03-08.
- 7) Reagent water, deionized, distilled, or 18 M Ω ,
- 8) Erlenmeyer flasks, 250-mL, glass.
- 9) Funnels, 100-mm, glass.
- 10) Graduated cylinder, 100 mL, glass.
- 11) Distillation equipment, all glass.
- 12) Heating mantle for 500 mL boiling flask.
- 13) Volumetric flasks, 10 mL, glass, with glass cap.
- 14) Timer or stopwatch.
- 15) Spectrophotometer.
- 16) Volumetric flasks, 100 mL, glass, with glass cap.
- 17) Analytical balance, accurate to 0.001 g.
- 18) Adjustable pipette, 10 mL
- 19) Adjustable pipette, 1,000- μ L
- 20) Disposable pipettes, 3 mL, plastic.

3.2. 시약 제조 방법

3.2.1. α -Naphthol 수용액

- 1) 100 mL 부피 플라스크에 95% iso-Propanol을 약 1/3정도 미리 넣은 후, α -Naphthol 4 g, 활성탄 0.5 g을 넣어 캡을 막고 흔들어 녹여준다.
- 2) α -Naphthol이 모두 녹으면 95% iso-Propanol을 추가하여

100 mL 메니스커스를 맞춰준다.

3) 활성탄은 녹지 않기 때문에, 여과 또는 원심분리 등을 이용하여 제거한 뒤, 상등액만 취하여 시약으로 사용한다.

4) 제조된 시약은 갈색병에 담아 보관하고, 보관 최대 기간은 2주일로 한다.

3.2.2. 1.1.1. KOH-Creatine 수용액

1) 다음 식을 참고하여 40% KOH 수용액 120 mL 제조에 필요한 KOH 시약의 양을 계산한다.

$$120 \text{ mL KOH sol.} \times \frac{40 \text{ g KOH}}{100 \text{ mL KOH sol.}} \times \frac{100 \text{ g KOH reag.}}{85 \text{ g KOH}} \\ = 56.47 \text{ g KOH reag.}$$

2) 100 mL 부피 플라스크에 40% KOH 수용액을 약 1/3정도 미리 넣은 후, Creatine 0.375 g을 넣어 캡을 막고 흔들어 충분히 녹여준다.

3) 시료가 모두 녹으면 40% KOH 수용액을 추가하여 100 mL 메니스커스를 맞춰준다.

4) 제조된 시약은 갈색병에 담아 보관하고, 보관 최대 기간은 2주일로 한다.

3.2.3. Diacetyl Stock Solution (500 mg/L)

1) Diacetyl은 독성물질로 반드시 흡후드 안에서 시약제조를 진행한다.

2) 100 mL 부피 플라스크에 80 mL의 초순수를 미리 넣는다.

3) 피펫을 이용하여 99% diacetyl 시약을 505 mg을 부피 플라스크

에 첨가한다.

4) 이후 초순수를 추가하여 100 mL 까지 메니스커스를 맞춰주고, 실제 들어간 시약의 무게를 이용하여, 용액속에 녹아 있는 diacetyl 의 함량을 %로 계산하여 농도를 적어준다.

5) 부피 플라스크 캡을 닫고 잘 섞어준 뒤, 새로운 100 mL 부피 플라스크에 10.0 mL 부피 피펫을 이용하여 정확히 10.0 mL를 옮겨주고, 초순수를 이용하여 100 mL까지 메니스커스를 맞춰준다(1/10 serial dilution). 이때도 마찬가지로 1/10로 희석되었으므로, 희석배수를 적용하여 정확한 diacetyl 농도를 작성한다.

6) 제조 된 시약은 갈색병에 담아 보관하고, 보관 최대 기간은 12개월로 한다.

3.2.4. 5 mg/L (5 ppm) Diacetyl 수용액

1) 100 mL 부피 플라스크에 초순수를 약 1/3정도 미리 넣은 후, 3.2.3.에서 제조한 시약을 정확히 1 mL 넣어 녹여준다.

2) 초순수를 이용하여 100 mL 까지 메니스커스를 맞춰, 1/100로 희석한다.

3) 본 시약은 실험 진행 직전에 제조하여 사용한다.

3.3. 실험방법

3.3.1. 시료 전처리(맥주 증류)

1) VDK 측정을 위한 시료를 탈기하여 100 mL 준비한다.

2) 준비 된 시료 100 mL 및 magnetic bar를 500 mL 둥근플라스크에 넣어준다.

3) 증류액을 수집할 25 mL 메스실린더에 5 mL 증류수를 미리 넣어준다.

- 4) 증류장치를 100℃, 120 rpm으로 작동한다.
- 5) 증류액을 15 mL 수집하면(초기 D.D.W. 5 mL + 증류액 15 mL = 총 20 mL), 증류작업을 중지하고, 25 mL 메스실린더를 장치에서 제거한다.
- 6) 25 mL 메스실린더에 D.D.W.를 취하여 정확하게 25 mL까지 메니스커스를 맞춰준다.
- 7) 5 mL 피펫을 이용하여 15 ~ 20회 피펫팅하여 분리되어있는 층을 균질화 한다.
- 8) 이후 5 mL 시료를 취하여 갈색 vial로 옮긴다.

3.3.2. 표준곡선 작성

5 mg/L Diacetyl 수용액을 다음과 같이 희석한다.

5 mg/L: 5 ppm	
↓	1/10 희석
[5 ppm: 6 mL] + [D.D.W.: 6 mL] = 500 ppb	
↓	1/2 희석
[500 ppb: 6 mL] + [D.D.W. 6 mL] = 250 ppb	
↓	1/2 희석
[250 ppb: 6 mL] + [D.D.W. 6 mL] = 125 ppb	
↓	1/2 희석
[125 ppb: 6 mL] + [D.D.W. 6 mL] = 62.5 ppb	
↓	1/2 희석
[62.5 ppb: 6 mL] + [D.D.W. 6 mL] = 31.25 ppb	

그림 2-6. 표준물질 희석배수 모식도

3.3.3. 시약반응 및 측정법

- 1) 미리 준비한 시료 및 초순수 5 mL(0 Blank)을 갈색 vial에 준비한다.
- 2) 각각의 바이알에 α -Naphthol 수용액 1.0 mL, KOH-Creatine 수용액 0.5 mL을 넣어준 뒤, 초순수를 추가하여 10 mL을 맞춰준다.
- 3) Vial cap을 닫아준 뒤, 정확히 60초간 격렬하게 흔들어 반응시킨

다.

4) 시약을 넣은 vial 순서대로 석영 셀에 시료를 미리 옮긴다.

5) 반응 종료 후, 3분 뒤 분광광도계를 이용하여 530nm 흡광도로 측정한다. 단, 5 ~ 6분 안에 모든 측정을 완료한다.

3.3.4. 함량 계산방법

다음 식을 이용하여 함량을 계산한다.

Vicinal Diketones (VDK), $\mu\text{g/L}$

$$= \frac{\text{Abs.}_{\text{test sample}} - \text{Abs.}_{\text{Blank}}}{\text{Abs.}_{\text{diacetyl std}} - \text{Abs.}_{\text{Blank}}} \times \text{diacetyl std conc.}$$

$$\div 4 \times \text{dilution factor}$$

4. 공정 개선 방법

개선 전, 공정은 맥주 브랜드에 따라 설정된, 이화학 기준에 근거 발효 말 Plato 값이 기준에 도달하면 발효조 온도를 0°C 로 설정하여 온도를 낮췄다.

개선 방향은 발효말 Plato 값이 기준에 도달하여도 바로 발효조 온도를 낮추지 않고, 발효 온도를 유지하여 diacetyl rest 시간을 제공, VDK 함량이 낮아지는지 확인하였다.

개선 효과를 확인하기 위해 앞서 서술한 diacetyl 정량 분석법을 통해 VDK 함량 변화를 확인하였다. 분석 주기는 발효 패턴을 확인하기 위해 발효 공정 시작부터 종료까지 약 12시간에 1회 분석 진행하였으며, 이후 공정 최적화를 위해 발효말기 도달 후, 12시간에 1회 분석하여 공정을 표준화 하였다.

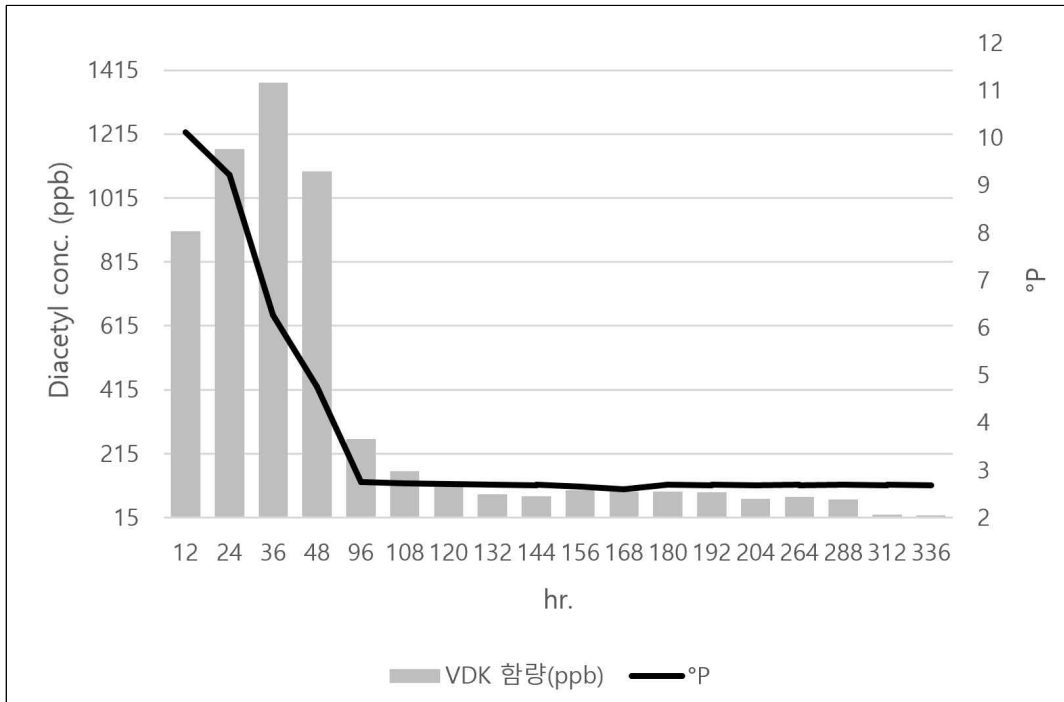


그림 2-7. 발효시간 경과에 따른 VDK 함량 및 Plato 값

발효 초기 VDK 함량이 크게 증가하여, 발효 말기로 다가갈수록 급격히 감소함을 확인 할 수 있었다. 더 이상 발효가 진행되지 않는 시점 이후로 VDK 함량이 가장 낮은 지점은 36 ~ 48 hr. 이후로 확인됐다.

위 결과를 바탕으로 아래와 같이 발효 조건을 변경하였다.



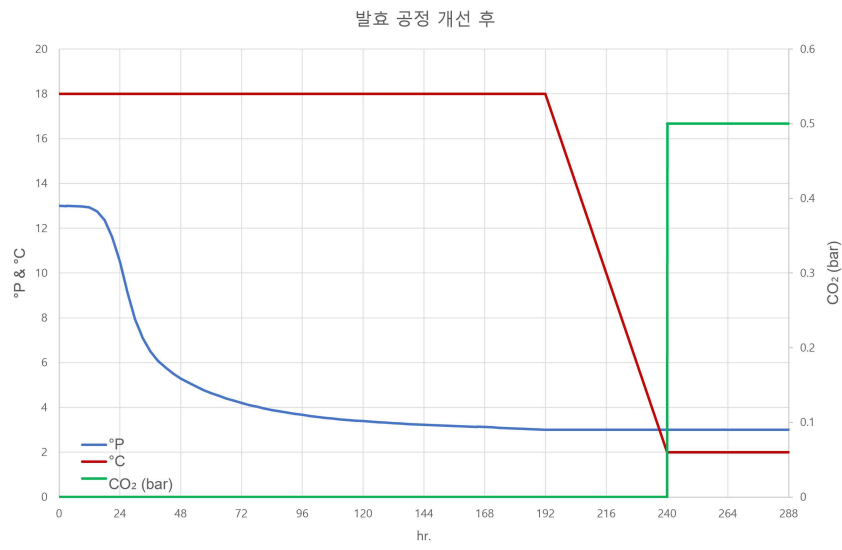


그림 2-8. 발효 공정 조건 변경

제 3 절 CO₂ 사용량 개선을 통한 원가 절감

1. 주입기 CO₂ 사용 원가 절감 요인 분석

맥주를 포함한 탄산이 들어있는 음료 주입공정에서 CO₂ 사용량은 매우 중요한 요소이다. 맥주의 경우, 용기 내부의 산소를 CO₂ 로 치환하여 제품 산화 방지를 할 수 있고, 압력을 조정하여 탄산음료의 거품이 발생하지 않도록 조정하여 주입용량 맞추는 등, 다양하게 사용이 된다.

하지만 품질을 목적으로 과도하게 사용한다면 불필요한 사용량으로, 원가가 증가할 수 있다.

품질 조건이 보장되는 수준에서 CO₂ 를 효율적으로 사용하여 사용량을 조정하면 많은 원가 절감을 기대할 수 있다.

본 연구에서는 생산비율이 높은 캔 제품에 대해 사용량 절감 가능 구역을 확인하였으며, seaming이 이루어지는 구간에서 불필요하게 CO₂ 가 사용되는 지점을 확인하였다.

캔 주입공정 이후, seamer로 반제품이 넘어가는 중간 단계에 bubble breaker라는 장비가 존재하며, 알루미늄 캔 head에 CO₂를 분사하여 head space에 잔존하고 있는 산소를 제거해주는 것이 주요 목적이다. 우리는 해당 공정이 불필요하다고 판단했다. 맥주의 경우 이미 head 부에 맥주 거품이 다량 존재하고 있으며, 거품 내부에는 CO₂가 가득 차있다. seaming이 되는 순간까지 거품이 제거되지 않는다면 외부 산소로부터 노출이 적어 제품 내 용존 산소량이 증가할 가능성이 매우 적다고 예상하였다. Bubble breaker 사용 유무에 따른 완제품 용존산소량에 변화가 있는지 확인하여, 그 변화폭이 적다면, 해당 공정을 제거하여도 문제가 없다고 판단된다.

두번째로, seaming 직전 gassing turret에서 다시 한번 CO₂를 분사하여 알루미늄 end와 알루미늄 can body가 결합되기 직전, 중간에 존재하는 산소를 제거한다. 해당 공정에 사용되는 CO₂량을 미세하게 조정하여, 용존산소량이 증가하지 않는 선에서 CO₂ 사용량을 최적화 하는

작업을 진행했다.

2. Bubble breaker 제거 전/후 용존 산소량 비교

Bubble breaker 제거 전/후, 완제품의 용존 산소량의 변화를 확인하기 위해 24회 반복실험을 진행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

(단위: ppb)

구분	DO	
	전	후
1	43.7	17
2	34.3	38
3	32.4	34
4	32.6	15.5
5	30.3	38.5
6	25.6	44.8
7	34.9	28.7
8	25.9	21.8
9	30.5	38.6
10	31.2	38.1
11	31.4	38.7
12	27.3	30
13	28.5	32.7
14	20.9	34.7
15	27.8	31
16	25	27.6
17	20.7	47.5
18	12	32.8
19	28.6	33.5
20	18.5	27.2
21	18.2	24.7
22	21	25
23	13	25.3
24	23.3	27.7
평균	26.6	31.4

표 2-1. Bubble breaker 제거 전/후, 완제품 용존산소량 비교

3. Gassing turret CO₂ 사용량 조정

		(단위: ppb)
Parameter Value		DO
1	Setpoint Tank Level: 55%	14.6
	Tank Pressure Set: 2.5 bar	33.7
	Can Volume: 500 mL	16.8
	Maximum Filling Time: 6.0 sec.	20.5
	Gas Fluxing: 1.4 sec.	27.3
	Pressurization Time: 1.0 sec.	16.5
		15.5
2	Setpoint Tank Level: 55%	25.2
	Tank Pressure Set: 2.6 bar	14.7
	Can Volume: 500 mL	33.4
	Maximum Filling Time: 6.0 sec.	25.7
	Gas Fluxing: 1.3 sec.	31.7
	Pressurization Time: 1.0 sec.	22.9
		13.4
3	Setpoint Tank Level: 55%	23
	Tank Pressure Set: 2.7 bar	35.1
	Can Volume: 500 mL	22.9
	Maximum Filling Time: 6.0 sec.	18.1
	Gas Fluxing: 1.2 sec.	19.4
	Pressurization Time: 1.0 sec.	15.3
		39.9
	12.2	

표 2-2. Gassing turret Parameter 조건값 변경에 따른 완제품 용존산소량 비교

제 3 장 결론

제 1 절 중소규모 수제맥주 생산 효율 증가

본 연구에서는 공정 개선 및 최적화를 진행하여, 주어진 조건속에서 기존보다 더 나은 품질과 원가절감을 이루어냈다. 이번 공정 개선을 통해 신제품 개발 폭이 더 넓어졌으며, 연구개발에 있어 기존에 가지고 있던 허들을 넘을 수 있었다. 아울러, 종업원의 눈높이가 상향되어 기존에 해결하지 못했던 비효율적 공정에 대해 좀 더 효과적인 대책 마련이 가능해졌다.

Sour 공정 개선을 통해, 담금 공정 효율이 기존 대비 약 240% 증가하였으며, 이 수치는 투자비용 대비 매우 높은 효율로 본 논문의 의도에 매우 적합한 개선활동으로 판단된다.

VDK 공정 개선은 ale 맥주가 주류인 수제맥주사들로부터 lager type 맥주 개발의 경쟁력을 얻은 품질 개선점으로 생각된다. 공정 개선 전, 완제품의 VDK 함량은 평균 약 300 ppb 정도였으며, 역취 임계값인 100 ppb 보다 3배 가량 높은 값이었다. 본 연구에서 개선 활동을 통해 임계값보다 낮은, 평균 91.9 ppb라는 결과를 얻어, 제어가 가능하도록 개선하였다.

CO₂ 사용량 개선은 연평균 6.76 kg/hL 사용량에서 기존 대비 약 19.85% 감소한 연평균 5.42 kg/hL 로 높은 절감 성과를 이룰 수 있었다.

제 2 절 추가 개선사항 확인

이번 작업을 통해 평소 놓치고 있던 공정에 대해 원가 절감 및 공정 효율 개선점이 좀 더 명확하게 판단되며, 다음 개선사항으로 HACCP CCP 공정으로 설정되어있는 공개 세척수를 회수하여 효율적으로 사용할 수 있는 개선안에 대해 고민하고자 한다. 현재 세척수는 일일 약 7 tons 정도의 물을 그대로 drain 시키고 있어, 필수 공정이긴 하지만, 버려지는 양을 무시할 수준이 아니기 때문에, 본 공정도 개선이 필요하다고 판단된다.

본 연구에서 sour 공정을 개선하였으나, 산도 기준이 높다면 결국 자비조에서 추가 유산발효를 진행해야하는 한계점을 확인했다. Pilot 설비를 이용한 유산발효조 운영은 부피적으로 한계가 있어, 본 맥즙과 희석되어 산도가 낮은 sour 맥주를 제조할 때만 적합하다는 의견이다. 차후 연구 계획으로 부피가 큰 발효조(본 설비)를 연결하여 운영이 가능한지 검토가 필요하다고 생각된다.

본 논문에서 다룬 내용은 주로 품질, 양조, 제품 공정을 메인으로 했다면, 좀 더 최적화의 개념을 확장하여 환경안전, 유틸리티 공정 등에 대해 고민해보고자 한다.

참 고 문 헌(16pt)

- 국세청. 국세통계. (2023). 10-3-1 주류별·지역별 제조면허 현황.
<https://tasis.nts.go.kr/websquare/websquare.html?w2XPath=/ui/ep/e/a/UTWEPEAA02.xml&sttPblYr=2023&sttsMtaInfrId=20230103J01202318448>
- 한국소비자원. 시장조사국. 유통조사팀. (2021). 국내 맥주 가격동향 및 이슈 분석.
- American Society of Brewing Chemists guidelines
- Yaqi Wang et al. (2021). Metabolism Characteristics of Lactic Acid Bacteria and the Expanding Applications in Food Industry. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. Volume 9 - 2021.
- G. Lermusieau, S. Noël, C. Liégeois, S. Collin. (1999). Nonoxidative mechanism for development of trans-2-nonenal in beer. *Journal of The American Society of Brewing Chemists*. 57:1, 29-33.
- B. W. Drost, R. van den Berg, F. J. M. Freijee, E. G. van der Velde & M. Hollemans. (1990). Flavor Stability. *Journal of The American Society of Brewing Chemists*. 48:4, 124-131.

Abstract

Plant Optimization for the
operation of small and
medium-sized craft breweries in
Korea

Hyukkee Moon

Food Technology/Food Technology

The Graduate School

Seoul National University

Due to financial and physical limitations, domestic small-scale craft breweries have poor production efficiency, and unlike large corporations, they face difficulties in maintaining quality due to lower process standards. If these limitations are not overcome, it would be difficult to expect continuous development of craft breweries. In this paper, we explored hidden opportunities for each facility through process optimization and conducted research on methods to maintain consistent quality for multiple product varieties. We obtained an efficiency increase of approximately 240% compared to the existing process by improving the sour beer production process. Through

fermentation process improvements, we were able to reduce the VDK (Vicinal Diketones) content, a measure of off-flavors, by over three times compared to the existing process. Additionally, by adjusting the unnecessary usage of CO₂ gas during product production, we were able to reduce its consumption by approximately 19.85% while maintaining product quality, resulting in cost savings. Through this research, we have identified further areas for improvement, and we believe that future studies should focus on reducing utility consumption.

keywords : Beer quality control, Plant optimization, Off-flavor control, Yield improvement, Cost reduction, Craft brewery.

Student Number : 2 0 2 1 – 2 3 7 5 3