

물의 경도가 알코올발효에 미치는 영향 연구 - 오존의 영향을 중심으로 -

† 박 영 규

대진대학교 화학공학과

(접수 : 2003. 10. 19., 게재승인 : 2004. 4. 25.)

Study of Hardness Effects of Water in Alcohol Fermentation to Focus Effect of Ozone

Young Gyu Park†

Department of Chemical Engineering, Daejin University, 11-1 SundanDong, Pochun 487-711, Korea

(Received : 2003. 10. 19., Accepted : 2004. 4. 25.)

The aim of the present study was to investigate how the hardness of groundwater affects in the alcohol fermentation. Ozone plays an important role to enhance the water quality, resulting in 85% reduction of hardness, and 30% increase in total glucose produced due to increased conductivity and biodegradability of water. After all, experiments using ozone are presented for the improvement of alcohol productivity. Although initially increased slightly alcohol production, higher than expected ethanol production was observed, with ozone treatment resulting in 20% higher production.

Key Words : Water quality, alkalinity, alcohol production, ozone, hardness

서 론

우리나라의 중요한 수자원의 하나인 지하수는 지역에 따라 수질이 달라질 수가 있으며 지하수를 이용하여 제품을 생산하는 경우에 수질의 안정성을 필요로 한다. 지하수중에 존재하는 광물질이나 유·무기물질은 종류가 다양하기 때문에 경우에 따라서는 음용수처리공정에서 응집, 침전, 여과 및 소독의 과정으로 지하수중에 포함되어 있는 용존 유·무기물 및 광물질을 제거하여야 하는 어려움이 있다. 특히 지하수를 이용하여 약주나 탁주를 제조하는 경우에 수질에 따라 제품의 품질이 달라 질 수가 있다. 이는 지하수내에 함유된 탄산가스, 칼슘, 마그네슘, 나트륨, 철 성분 등이 많이 함유되어 있기 때문이다. 이러한 지하수내 함유된 광물질 중 칼슘이나 마그네슘은 물의 경도에 영향을 주며 칼슘이나 마그네슘 등이 과량 포함되는 경우에는 생물학적 성장을 저해하고 물맛뿐만 아니라 심한 경우에는 배탈의 원인이 되는 등의 부작용을 일으킬 수 있다.

본 논문에서 연구될 주정공정에서 알코올 발효는 원료-미생물 성장-숙성-알코올생성이라는 일련의 단계를 거치기 때문에 각 공정마다 수질의 품질에 영향을 크게 받는다. 미생물의 증식과 지하수의 품질과의 관계가 술덧의 안전한 발효와 잡균오염이 방지되어 품질이 균일한 알코올이 제조되고 알코올의 수율 등에 큰 영향을 미치고 있다. 그러므로 알코올의 숙성공정상 나타나는 주질은 쌀, 누룩, 용수, 청결, 온도 등의 조건에 의하여 좌우되고 원료에서 최종제품에 이르는 데 있어서 수질의 향상과 잡균오염방지를 위해서 물을 효과적으로 이용하는 것이 중요하다.

최근에는 알코올 발효 시 오존을 이용하는 제조 공장들이 증가하고 있다. 이는 오존이 강력한 산화력을 지니고 있기 때문에 많은 유기화합물, 무기화합물 및 용존 미생물 등을 빠르게 분해 시키거나 미생물의 성장을 사멸시켜 소독의 이유로 주로 사용하고 있다(1). 특히 음용수 수질기준법과 관련하여 대장균 군에 관한 규정을 제정한 이후 적정수준의 소독효과를 얻기 위해 오존을 사용하고 있는 게 현실이다. 본 논문의 목표는 오존을 이용하여 수질내 경도를 감소시키고 수질의 개선을 통해 알코올의 생성을 증진시키기 위한 방법에 대한 연구를 수행하는 데 있다.

현재까지 알코올 발효에서 알코올 생성공정, 미생물, 저장성 등에 관한 연구가 대부분이었으며 지하수 수질의 품질 향

† Corresponding Author : Department of Chemical Engineering,
Daejin University, 11-1 SundanDong, Pochun 487-711, Korea
Tel : +82-31-539-1994, Fax : +82-31-536-6676
E-mail : ypark@daejin.ac.kr

상을 위해 오존을 이용한 알코올 발효에 관한 연구는 거의 미미한 실정이다. 그러므로 오존을 사용하는 목적은 수중에 생물학적 처리를 저해하는 물질을 제거하거나 현저히 감소시킴으로써 오존처리가 생분해도에 영향을 미쳐 알코올 생성에 증가시키는 지 여부를 평가하는 것이다.

이를 위해 앞서 언급한 사실외에 우리나라와 같이 석회석이 많이 분포된 강원도 지역에서는 지하수 수질의 경도가 높아서 pH 및 알칼리도를 동시에 조절하는 수질안정화 방법(2)을 이용한다면 pH 및 총 무기탄산농도 등 수질의 안정성이 알코올제조에 안정성을 가져올 수 있다. 또한 알칼리도를 동시에 조절하는 방법은 적용하기 쉽고 이를 통해 품질제어에 따른 당화반응과 알코올 발효를 평가하고 현장에 적용할 수 있는 최적의 수질 제어기준을 설정하고자 한다. 그러므로 본 연구는 수질의 품질 향상과 탁주의 품질 특성을 검토할 목적으로 술덧으로 용용시 식용 가능한 여러 수질을 오존 등을 이용하여 개량누룩으로 담금함으로써 발효과정 중 술덧의 품질을 검토하였다.

재료 및 방법

오존반응기

본 연구에 사용된 실험장치의 구성을 Fig. 1에 나타내었는데 오존발생기는 압축공기를 이용하여 오존을 발생시키며 발생되는 오존의 양은 주입되는 공기의 양에 따라 0~20 g/hr로 조정하였다. 실험장치에서 모든 튜브와 밸브 등은 오존에 내구성이 강한 테프론 관이나 플라스틱을 사용하였다. 오존발생기는 PCI 제품의 (HOS-20V, USA)를 사용하였고 최대 오존발생용량 20 g/hr를 가지며 수중 오존농도는 1 ppm 이하의 농도를 유지하도록 하였다. 일반적으로 오존발생기에서 3 g/hr로 발생되는 오존을 반응조에서 5 ℓ의 시료와 반응시켰다. 오존 주입시 주입량을 측정하기 위한 측정기기는 UV흡광도계를 장착한 Wedeco (Germany)의 제품을 이용, 실시간 측정하였다. 오존발생기는 압축공기를 이용하여 오존을 발생시키는 장비이며 반응기내에 연속적으로 공급하였다.

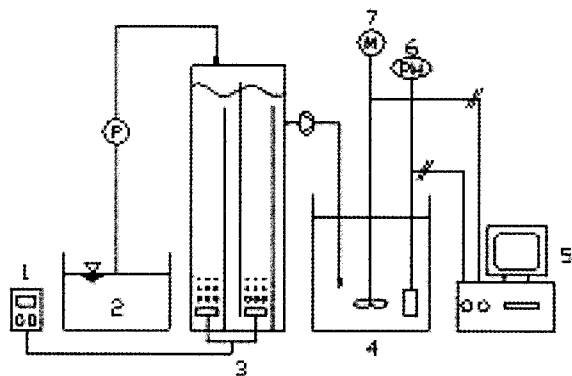


Figure 1. Schematic diagram of experimental apparatus.
 (1) Ozone generator, (2) Mixing tank, (3) Ozone contactor,
 (4) Fermentor, (5) Controller, (6) pH control tank, (7) Agitator

오존접촉반응기는 전체부피가 28 ℓ이며 폭이 36 cm이고 높이가 110 cm인 아크릴로 제작하였다. 접촉조 상단에는 유입수 주입구와 가스배출구를 설치하고 하부에는 시료 채취구를 설치하였으며 오존발생기에서 발생하는 오존은 반응조 바닥 중앙에 위치하는 산기관을 통하여 주입하였다. 실험장치는 3단의 단위공정의 조합으로 이루어졌으며 각 단의 배출구에서 채취된 샘플을 분석함으로써 원수의 처리효과를 분석하였다. 실험장치의 개략적인 오존접촉형태는 일단과 다단접촉으로 나누어서 실험하였다.

실험방법

쌀 1 kg을 세척하여 24시간 물에 침지 후 물을 빼고 고압 증기 솥에 121℃로 20분간 증자하고 30℃로 냉각하였다. 10 리터들이 유리병에 증자 냉각한 쌀, 담금용 누룩을 혼합하여 탁주를 담금하고 24℃의 항온기에서 3~5일간 발효시켰다. 쌀 50 g이 되게 혼합하여 원료 밀 중량의 40% 정도의 물을 가한 후 물을 충분히 흡수시켜 용기 내 원형으로 성형하고 *Aspergillus kawachii*의 종균을 표면 접종하였다. 알코올 발효에서 사용한 누룩용 균은 울산 종균에서 구입하였으며 이들은 3일간 자연 발효시킨 후 담금용 누룩으로 사용하였다.

분석방법

발효과정 중의 술덧을 취하여 200 rpm 이상 균질화시킨 후 샘플을 수집하여 분석하였다. 알코올 분석은 시료를 펠터 여과를 통해 여과하여 그 여과액의 2.0 μl를 gas chromatography (Hewlett packard HP6890)로 분석한 후 정량하였다. GC column은 HP-1 (60 mm x 0.25 mm x 0.25 mm), carrier gas는 헬륨 가스를 사용하였고 주입온도는 250℃, 항온조의 온도는 50℃에서 240℃로 증가시켜 성분들을 분석하였으며, 10℃/3 min으로 상승시켰다. pH는 pHmeter (HANA, Korea)로 측정하였고 총산은 1% 페놀프탈레인을 지시약으로 하여 0.1 N NaOH 용액으로 적정한 후 0.009를 곱하여 표시하였다. 당의 함량은 일본에서 개발한 당 측정 센서 (Ike, Japan)를 이용하여 측정하였다.

오존농도의 측정은 가스 상과 용존 상으로 나누어 측정되며 가스 상의 농도는 UV photometer가 장착된 PCI 제품의 오존측정기 (PCI-Wedeco)를 이용하여 측정하였다. 용존 상의 오존농도는 습식법을 이용하여 KI용액을 오존과 접촉한 후, Na₂S₂O₃로 적정하는 인디고 색도법으로 적정하였으며 적정시약은 HACK사의 제품을 사용하였다. 색상은 파란색으로 탈색하여 600 nm에서 UV흡광도기기를 이용하여 측정하였다.

지하수의 경도 및 알칼리도의 측정방법은 EDTA 1.179 g과 MgSO₄ · 7H₂O 0.78 g을 증류수 50 ml에 녹인 후 NH₄Cl 16.9 g과 NH₄OH 143 ml을 섞고 상기용액을 첨가하여 총 250 ml되게 증류수로 희석하였고 에리오크롬 블랙 T 지시약을 에틸알코올에 녹여 사용하였다. 이들을 EDTA 표준 적정액으로 붉은 색이 없어질 때까지 EDTA용액을 3-5초 간격으로 넣으면서 적정하였다. 알칼리도는 시험수 50 ml를 취하여 메틸 오렌지 지시약 2방울을 가하고 0.02 N 황산으로 적정하여 황색에서 등적색으로 변할 때까지로 하였다.

결과 및 고찰

수질의 경도가 미생물 성장에 미치는 영향

일반적으로 물의 경도는 CaCO₃의 리터당 질량 또는 밀리당량 관점에서 측정하기 때문에 물의 경도는 물의 알카리도에 영향을 미치고 수중의 CO₃²⁻, HCO₃⁻, OH⁻ 성분 에 기인하는 것으로 나타났다. 일본의 보건후생성은 맛있고 안전한 수질의 조건으로 경도는 10~100 mg/l를 권장(2)하고 있는데 현재 본 실험을 위해 사용하는 지하수의 수질은 100~500 mg/l의 경도를 나타내고 있다. 본 실험을 위해 사용된 지하수는 지하 100 m로 직접 사용하지 않고 일단 모래 여과조를 1단계 통과시켜 음용수로 공급하고 있으며 Table 1에서 보듯이 음용수내 높은 경도를 나타내고 있다.

Table 1. Result of water analysis

검사항목	기준 (mg/l)	측정결과	검사항목	기준 (mg/l)	측정결과
탁도	1 NTU 이하	0	염소이온	250 이하	22
경도	300 이하	500	과망간산칼륨 소비량	10 이하	3.5
암모니아	0.5 이하	불검출	색도	5도 이하	0
질산	10 이하	3.8	세제	0.5 이하	불검출
벤젠	0.01 이하	불검출	황산이온	200 이하	14
톨루엔	0.7 이하	0.03	에틸벤젠	0.3 이하	불검출

Table 1은 공급된 수질의 분석결과를 공인기관인 수도연구소에서 측정한 데이터를 인용한 것이다. 앞서 언급하였듯이 수질의 특성에 따라 미생물 균 증식 시 미묘한 영향을 받을 수 있으며 생육에 큰 영향을 끼치는 것으로 나타났다. Fig. 2는 칼슘의 농도가 증가 할수록 Lineweaver-Burk plot에서 좌도되는 경우에 y-절편의 값, v_{max} (최대반응속도)는 감소하는 것으로 나타나고 있다(3). 주입 칼슘농도가 0.1 g/l 인 경우 물의 경도는 540 mg/l로 나타났다. 이는 수중의 칼슘으로 인해 수질 내 물의 경도가 증가해 생물학적 반응 속도가 감소하는 것을 의미한다. 특히, 효모에 의한 주요공정인 발효공정에서도 수질의 차이에 따라 효모균과 유산균의 생육에 영향을 미쳐 그 결과 맛과 향이 다양한 술이 만들어지게 된다.

과량으로 물속에 존재하는 칼슘은 생물억제에 민감하며 억제효과는 미생물의 성장속도의 감소를 일으킨다. 일반적으로 무기물의 농도가 일정농도까지는 성장을 자극하는 역할을 하지만 그 이상의 농도로 증가하게 되면 또 다른 전자수용물질을 제공함으로써 억제반응으로 나타나는 것으로 나타났다. 이러한 억제물질의 농도가 증가한다면 생물 내 반응감소를 나타내면서 결국에는 미생물의 성장이 멈추게 된다.

수질의 오존영향

Fig. 3은 일정한 오존 주입시간별로 수질변화를 나타낸 결과이다. 오존 주입시간이 30분, 2시간, 3시간 그리고 4시간으로 나누어 실험을 해 본 결과, 수중의 잔존산소의 농도는 1.3 ppm 이하로 오존 주입시간에 따라 큰 변화를 나타내지 않았다. 그러나 pH는 8.0에서 7.3으로 약간 감소하지만 전기전도도는 250 mΩ⁻¹에서 380 mΩ⁻¹로 50% 이상 크게 증가하는

것으로 나타났다. 이상의 실험결과를 놓고 볼 때, 지하수의 오존주입은 주입방법, 주입시간과 주입양 등에 따라 수질의 경도, 산소의 농도, pH 그리고 전기전도도가 다르게 나타났다. 수중의 경도의 경우에도 오존의 라디칼 산화반응에 의해 탄산칼슘 화하면서 오존처리의 경우에 35% 이상 감소하는 것으로 나타났다. 이는 유·무기물의 hydroxyl 라디칼에 의한 산화반응에 의해서 분해가 이루어지고 이로 인해 수중의 전기전도도가 증가할 뿐 만 아니라 경도도 감소하기 때문에 결국 수중 내 생물학적 반응을 촉진시킬 수 있다(4).

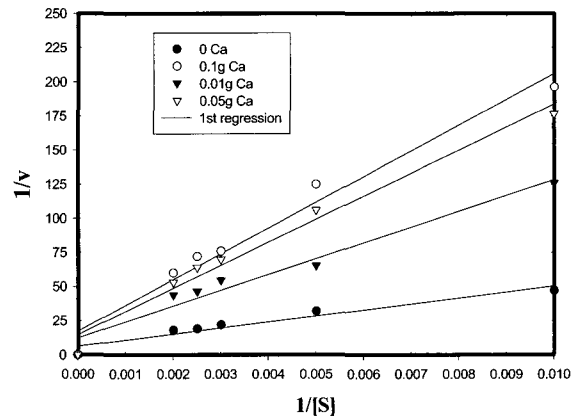


Figure 2. Variation of microorganism growth rate depending on water-hardness in the Lineweaver-Burk plot.

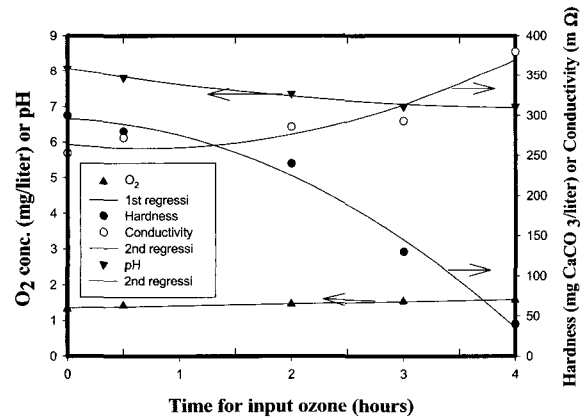


Figure 3. Variation of oxygen concentration, pH, conductivity and hardness depending upon input time of ozone.

본 실험에서 사용한 지하수는 pH가 8.0로서 물의 경도와 알카리도를 고려하여 오존이 수중에서 발생하는 수산화라디칼 반응에 적절하다. 지하수내 칼슘을 제거하기 위해 오존을 주목적으로 사용하는 예는 드물지만 먹는 물에 오존을 사용하는 이유가 살균처리, 유기물제거와 입자제거가 일차적인 목적이라면 이와 더불어 물의 경도를 제거할 수 있기 때문에 상업적으로 오존을 사용할 필요가 있다. 이것은 수중의 칼슘들이 수산화라디칼 반응에 의하여 칼슘이온 (Ca⁺²)은 CaO(OH)₂로서 오존과 반응하여 매우 빠르게 산화반응이 일

어나게 되고 산화·환원반응이 반복되면서 O₂로 급속히 분해 되거나 이들이 상호 응집과정을 겪으면서 궁극적으로 상등수의 칼슘은 상당량 제거하게 된다.

물의 경도는 다가의 금속이온 (Ca²⁺와 Mg²⁺)이 존재하기 때문에 생기며 경수가 존재할 때 물의 pH가 높아질수록 중탄산염에서 탄산염으로 전환하기 때문에 알칼리도가 높아진다. Fig. 4에서 보듯이 지하수의 경도가 360 mg CaCO₃/ℓ 인 경우, 반응기내 주입오존의 농도를 7.2 g/hr, 11.7 g/hr 그리고 17.2 g/hr로 증가시키는 경우에 경도는 250 mg CaCO₃/ℓ, 232 mg CaCO₃/ℓ, 116 mg CaCO₃/ℓ 으로 감소하였으며 알칼리도 역시 112 mg CaCO₃/ℓ 에서 82 → 71 → 49 mg CaCO₃/ℓ 으로 감소하는 것을 알 수 있다. 이상의 결과를 놓고 볼 때 오존에 의한 수질 내 경도와 알칼리도의 감소는 오존에 의한 수산화 라디칼과 수산화 이온이 칼슘과 반응하여 칼슘의 양이 현저히 줄어드는 것으로 나타났다.

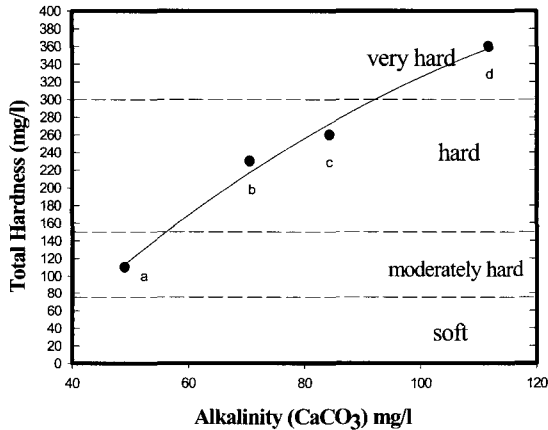


Figure 4. Total hardness vs Alkalinity depending upon input amount of ozone ((a) 0 g/hr, (b) 7.2 g/hr, (c) 11.7 g/hr, (d) 17.2 g/hr).

물의 경도가 에탄올생성에 미치는 효과

발효과정에서 쌀의 당화과정은 *Aspergillus kawachii* 균을 이용하여 이루어지며 총 당 함량의 오존주입농도에 따라 나타낸 그림은 Fig. 5와 같다. 총 당 함량은 담금 일에 200 mg/dℓ 이상으로 높지만 이후 오존의 주입농도가 0 g/hr, 7.2 g/hr, 11.7 g/hr 그리고 17.2 g/hr로 증가하는 경우에 총당 함량은 오존처리 하지 않은 경우보다 15.0%, 27.7%, 60.2% 증가하는 것으로 나타났다. 시험구별로는 담금 일에 지하수를 오존 단독으로 처리한 경우가 미 오존처리의 경우보다 총당량이 높았고 이는 앞서 언급한 지하수 수질의 개선효과와 연관이 있는 것으로 나타났다.

Fig. 5는 당화 발효기간의 경과에 따라 생육하는 미생물의 작용으로 오존주입농도에 따라 미생물이 대사반응이 증대되어 유기산의 생성량이 증가된다. 담금 직후에 총당량은 오존 주입량에 따라 차이가 크지만 시간이 지날수록 감소하는 경향이 나타나고 이로 인해 pH가 저하하는 것으로 나타났다. 시험구별로는 담금 직후에 오존의 농도가 증가 할수록 pH가 낮아지는 경향을 나타내고 있으며 각 시험구간의 pH 차이는

근소한 것으로 나타났다. 또한 물의 전도성은 두 전극간의 전기적 저항을 측정하고 용존 고형물의 농도를 측정하는데 사용될 수 있는데 탁주 술덧 발효 중의 수질의 전기전도도는 담금 시작일에 지하수는 237.4 mΩ⁻¹이지만 오존으로 1시간처리한 지하수의 경우에는 314.2 mΩ⁻¹이었지만 1차 담금 발효 1일이 경과한 후에는 각각 2,222 mΩ⁻¹로 나타났다.

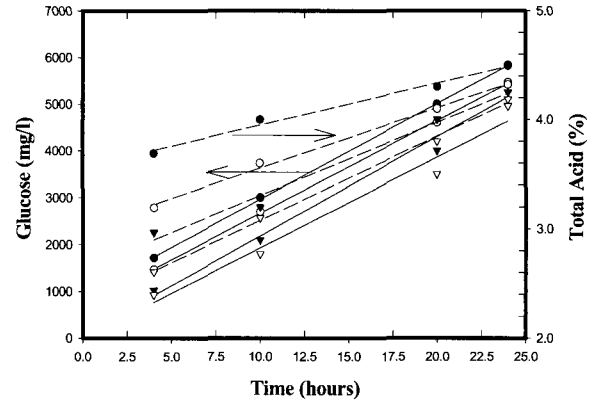


Figure 5. Comparison of production of total glucose and pH depending upon input amount of ozone ((●): input amount of ozone 17.2 g/hr, (○): input amount of ozone 11.7 g/hr, (▼): input amount of ozone 7.2 g/hr, (▽): input amount of ozone 0 g/hr).

오존을 사용하는 경우에 지하수 수질의 경도가 감소하고 수질의 전기전도도가 증가하는 비율이 오존의 주입량과 비례하기 때문이고 이로 인해 미생물의 생분해도가 증가하는 것으로 여겨진다. 일반적으로 지하수에 오존을 넣고 반응을 하면, 오존과의 반응으로 용존유기물 등의 화학적 성상이 변하게 되고 이로 인해 원래의 분자량보다 분자량이 감소하거나 생물학적 분해능이 증가하는 것으로 알려지고 있다(5). 특히 비극성구조가 증가하면서 이로 인해 고형물과의 흡착력이 증가하여 미생물과의 반응성을 높이는데 일조를 하고 있다.

당화과정 후 혐기성 미생물로 알코올 발효시 포도당은 완전히 분해하지 않고 알코올을 생성시킨다. 담금 후 yeast의 효소작용으로 원료의 전분이 당분으로 분해되고 효모 발효 기질로 이용되어 일정기간까지 에탄올 함량이 증가된다. 에탄올은 보존성이나 향미에 영향을 주는 중요한 성분으로 에탄올의 함량은 다소 높아야 한다. 본 실험결과 오존을 이용한 처리수로 사용한 경우, 에탄올 함량이 높아 보존성에서 유리한 것으로 나타났다. 수질의 종류마다 알코올 담금에 사용하여도 yeast의 효소반응과 생육하는 효모의 활성여부에 따라 각 수질에 따른 에탄올 함량도 다르게 나타나는 것으로 나타났다.

발효과정 중 에탄올발효의 함량은 Fig. 6과 같다. 에탄올 함량은 2차 담금 일로부터 7일가량 담금 후에 에탄올 생성에 대한 오존의 영향을 나타냈다. 실험결과 담금 후부터 미오존처리, 오존단독처리를 동시에 처리하는 경우를 비교분석하였다. 실험결과는 미오존 처리하는 경우에 알코올 생성량은 5.0% → 5.4% → 4.9% → 4.5% → 4.4% → 4.3%이지만 오존을 단독으로 처리한 후, 2차 담금하는 경우에 4.5% →

4.9% → 5.5% → 5.3% → 5.1% → 5.0%로 변화하는 것으로 나타났다. 특히 오존을 처리하는 경우에 알코올 생성량은 오존 단독처리의 경우보다 10~20% 증가하는 것으로 나타났다. 이같은 실험결과는 이전의 비슷한 실험결과에서도 나타났다(6). 그러므로 탁주 발효 중 에탄올 함량의 증가는 지하수의 수질향상과 생물학적 분해능 증가로 인하여 높게 나타나는 것으로 나타났다.

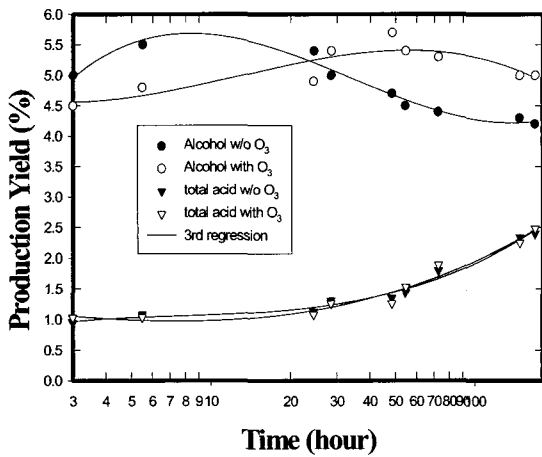


Figure 6. Experimental results to compare alcohol production, total acid between ozone treatment and non-ozone treatment in fermentation.

Fig. 6에서 보듯이 초기에는 오존 미처리수가 알코올 생성량이 오존처리 수보다는 생성량이 증가하지만 담금 일로부터 이들이 지나면서부터는 오히려 오존처리수인 경우에 알코올 발생량의 증가가 계속되는 것으로 나타났다. 그러나 미 오존처리수와 오존처리수 등을 비교해 볼 때, 비교적 일정하게 알코올 생성량이 높게 생성되는 것으로 나타났다. 이는 초기에 단독오존처리인 경우에 불안정한 라디칼반응물 등이 존재하여 생물학적으로 미생물반응을 억제하는 것이며 시간이 갈수록 미생물이 발효됨으로서 대사생성물이 유기산과 라디칼반응물의 소모 등으로 원래의 환경상태로 화학반응이 순화되면서 생성물이 정상적인 발효대사가 일어나는 것으로 생각할 수 있다.

Fig. 6은 총산의 변화는 오존의 영향을 나타낸 것으로 그들의 차이는 미미한 것으로 나타났다. 총산생성의 경우는 알코올 생성량과 같이 오존단독으로 처리 경우가 미 오존처리수보다 결과는 미미하지만 감소하는 결과를 나타냈다. 총산은 담금 일에 2% 정도로 함량이 낮았으나 발효 2일에 3.2~3.5%로 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 알코올 발효주 중의 총산은 담금 직후에는 원료중의 유기산이 주로 관여하나 발효가 진행되면서 효모 발효로 생성되는 유기산의 영향으로 총산 양이 증가되었다. 실험구별로 살펴보면 담금 일에는 시험구간 비슷한 함량을 보였으나 발효 2일부터는 지하수에 오존과의 반응성에 따라 총산 함량의 차이는 큰 차이를 나타내지 않았다.

이상의 결과를 토대로 지하수를 오존으로 처리하는 시간별로 오존처리수를 달리하여 실험을 수행한 결과를 Fig. 7에

나타냈다. 그 결과, 오존처리시간이 30분, 2시간, 3시간 그리고 4시간으로 길어질수록 알코올 생성량은 담금 시간에 비해 하여 차이가 나는 것으로 나타났다. 담금일 당일에는 별 차이가 없었으나 담금 일이 4일 지난 후에 오존처리시간에 따른 차이점을 분석해 본 결과, 그 차이는 확연히 나타나며 초기 에탄올 발생량과 비교하여 최대 300% 정도 차이가 나는 것으로 나타났다. 이는 수중의 알카리도가 증가하는 경우에 이는 탄산염과 오존과의 반응으로 오존산화반응이 라디칼의 연쇄반응에서 종결반응으로 전환되므로 반응 속도가 감소하게 된다. 그러므로 오존과의 반응 시간이 길어질수록 이러한 종결반응의 가능성은 줄어들게 되고 꾸준한 반응속도의 증가로 경도가 감소됨과 동시에 에탄올이 증가하는 현상으로 나타났다.

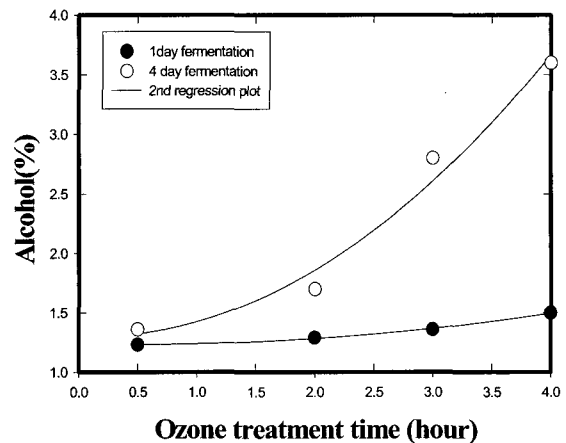


Figure 7. Variation of alcohol production depending upon ozone treatment time and cultivation time.

요 약

알코올 발효에서 물의 경도가 중요한데 오존을 사용하게 되면 경도를 줄이면서 알코올의 생성량을 증가시키는데 중요한 역할을 한다. 지하수에 오존을 처리하는 경우, 오존의 산화반응으로 알코올의 품질에 긍정적인 효과를 보이는 것으로 나타났으며 담금 공정에서의 처리효과를 분석한 결과 다음과 같다.

1) 오존의 주입시간에 따라 에탄올 발생량이 다르게 나타났으며 오존주입시간을 4시간 처리한 경우가 미 오존 처리한 경우와 비교하여 수중의 경도는 85% 이상 감소되며 전기전도도는 50% 이상 증가하였지만 수중의 산소농도는 1.2% 미만으로 큰 차이가 나타나지 않았다. 오존주입시간과 발효시간 경과에 따라 에탄올 발생량은 초기와 비교하여 최대 300% 이상 차이가 나는 것으로 나타났다.

2) 오존 처리시 수중의 오존의 농도는 1 ppm 이하의 규정을 유지한 상태에서 오존주입을 증가시키게 되면 오존 증가

와 함께 에탄올의 생성량은 1차 담금 4일째부터 20% 이상 증가하는 것으로 나타났다.

REFERENCES

1. Sawyer, C. N., P. McCarty, and G. F. Parkin (2000), Chemistry for environmental engineering, pp131-126, Donghwa Press, Seoul.
2. Yoo, M. J. and Y. Cho (1995), Water treatment, pp118-126, Donghwa Press, Seoul.
3. Stryer, L. (1999), Biochemistry, pp204-210, W. H. Freeman, New York.
4. Gottschalk, C. (1999), Ozonation of water and wastewater, pp46-89, Pergman Press, New York.
5. Arslan, I. and I. Balciglu (2001), Advanced oxidation of raw and biotreated textile industry wastewater with O₃, H₂O₂/UV and their sequential application, *J. Chemical Technol. Biotechnol.* **76**, 53-60.
6. Kim, H., J. Lee, S. Choi, P. Kwon, and M. Oh (1999), Effects of ozone and light illumination on the enzymatic activity of malt, *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **28**, 67-73.