

누룩 사용 발효주로 제조한 증류주의 숙성 용기 및 기간에 따른 특성

이대형¹ · 박인태¹ · 이용선¹ · 서재순¹ · 정재운¹ · 김태완² · 김재호² · 안병학²

¹경기도농업기술원 작물연구과
²한국식품연구원 우리술연구센터

Quality Characteristics of Fermented Wine Using *Nuruk* by Aging Container and Period of Distilled Liquor

Dae-Hyoung Lee¹, In-Tae Park¹, Yong-Seon Lee¹, Jae-Soon Seo¹, Jae-Woon Jung¹,
Tae-Wan Kim², Jae-Ho Kim², and Byung-Hak Ahn²

¹Gyeonggi-do Agricultural Research Extension Services
²Brewing Research Center, Korea Food Research Institute

ABSTRACT This study aimed to determine the quality characteristics of fermented wine using *Nuruk* according to the type of aging container (jar or stainless container) and aging time. Alcohol analysis was initiated at 40.4~39.3%, and alcohol contents in the jar and stainless container decreased as aging time increased. Volatile acid content slightly increased in the reduced pressure (RP) jar and stainless container and showed a different result in the atmospheric pressure (AP) container. Amount of acetic acid did not change either in the jar or stainless container as aging time increased. In the case of 2-thiobarbituric acid (TBA), RP was lower than AP after distillation, and TBA value did not change much either in the jar or stainless container. In the case of fusel alcohol by aging time, n-propanol content did not increase either in the jar or stainless container as aging time increased. Iso-butanol content was reduced in the jar but did not change in the stainless container. In the AP container, more aromatic components were measured on the 180th day of aging time than after distillation. High boiling point aromatic components increased in particular. In the stainless container, more aromatic components were generated on the 180th day of aging, but their amount was relatively lower than in the jar. In the jar aging sensory test, the sensory score at RP 50 cmHg was highest on the 180th day of aging. In the case of AP 80°C liquor, sensory score on the 180th day was the most improved.

Key words: distilled soju, *Nuruk*, jar, stainless steel container, aging

서론

13세기 이후 우리나라에 소줏고리가 전파되면서 만들어지기 시작한 증류식 소주(1)는 독특한 향기와 풍부한 맛으로 탁주, 약주와 더불어 3대 술로 700여 년간 즐겨 마시는 전통주로 자리 잡아 왔다(2,3). 그러나 1970년대 이후 알코올 함량이 낮은 희석식 소주의 급격한 소비량 증가와 더불어 상대적으로 알코올 함량이 높으며 곡류취, 누룩취, 누룩곰팡이가 생성한 부산물 등 향미 성분이 강한 증류식 소주의 생산량 및 소비량은 점차 감소하였다(4).

증류주의 경우 제조과정에서 원료, 발효제의 종류, 발효 상태 및 증류 조건 등에 따라 증류주의 휘발성 향기 성분은 다양하며, 최근 연구로는 쌀을 이용한 증류식 소주에 관한 연구로 Min 등(5)은 쌀을 원료로 전통주인 삼일주를 제조하

여 상압증류 및 감압증류에 따른 증류주의 특성을 비교하였으며, In 등(6)은 전통방법으로 담근 안동소주, 문배주, 이강주 및 진도 홍주의 저장 및 숙성기간에 따른 퓨젤유 함량 및 향기 성분 변화를 보고하였다. 특히 최근 Yi 등(7)은 입국과 누룩으로 제조한 술을 상압증류 및 감압증류에 따른 증류주의 특성을 비교하였다.

하지만 증류주의 경우 증류 직후에는 자극적인 냄새와 맛의 풍미가 거칠어서 음용하기가 어려우므로 저장을 통하여 술을 숙성시키면 이러한 결점이 제거되어 부드러운 술로 변하게 된다(8). 일반적으로 소주 숙성 중 초기 숙성은 가스 향 성분을 제거시켜 자극적인 향을 감소시키는 데 목적이 있으며, 중기 숙성 시 소주 중의 카르보닐화합물이나 지방산 에스테르화, 생성 향미 성분의 농축, 물과 알코올의 화합에 의한 맛의 조화가 증가된다(9).

또한 숙성 중 중요한 변화 요소로는 저장용기로 전통적으로 사용해 오던 항아리, 스테인리스 탱크, 오크통과 같은 목재용기 등이 이용되어 왔다. 스테인리스 탱크는 용기나 목재에 비하여 숙성에 의한 변화가 적으며, 알코올의 양적인 절

Received 28 May 2014; Accepted 1 July 2014

Corresponding author: Dae Hyoung Lee, Gyeonggi-do Agricultural Research Extension Services, Hwasung, Gyeonggi 449-702, Korea
E-mail: leedh2@gg.go.kr, Phone: +82-31-229-5784

감도 적다고 알려져 있다. 향아리는 환기성(기체투과성)이 있고 숙성을 촉진하며, 목재용기는 나무의 성분이 용출되어 소주의 화학적 숙성을 촉진하고 술의 향미를 형성하며, 오크 통에 저장하면 소주가 갈색으로 착색되어 위스키 등과 유사한 색을 가질 수 있다(10)

우리나라에서 증류주의 숙성과 관련된 연구로는 Hong 등(11)의 한국산 참나무 편을 사과 및 딸기 증류주에 3년간 숙성시킨 후 향기 성분을 비교 분석한 실험과 Kim(12)의 효모 종류에 따른 배 증류주의 숙성기간별 품질 특성을 비교한 실험이 있으며, Park(13)은 보리 증류주 개발을 위한 발효 조건 및 참나무 첨가에 따른 증류주의 숙성 효과를 분석하였다.

하지만 쌀을 원료로 한 증류주의 숙성 논문은 적은 편이기 때문에 본 연구는 Lee 등(1)의 선행 연구 결과인 입국과 누룩으로 제조한 술의 감압과 상압 증류 특성 중 누룩으로 제조한 발효주로부터 제조한 증류주를 국내에서 가장 보편적으로 사용하고 있는 향아리와 스테인리스 용기에 숙성시키며 숙성시간별 증류주의 변화 특성을 검토하였다.

재료 및 방법

실험 재료

본 실험에 사용한 증류주 원액은 선행 연구(1)에서 생산된 증류주를 사용하였으며 그 증류주의 원료 및 제조 방법은 다음과 같다. 소주 제조용 원료미는 추청(경기도농업기술원 자체 재배, 2012)을, 누룩은 상주곡자(sp 300, Sangju, Korea)를 사용하였으며, 정제효소는 데코자임제품(*glucoamylase* 92%, α -amylase 8%, sp 30,000, Doyoung, Anyang, Korea)을 구입하여 사용하였다. 주모 제조를 위한 효모는 *Saccharomyces cerevisiae*(La Parisienne, Marcq-en-Baroeul, France)를 사용하였다. 술덧 제조는 안동 소주 제조 방법을 변형하여 제조하였으며 백미 25 kg을 세미, 침지, 증자, 냉각한 다음 물 60 L와 효모 50 g을 혼합한 후 누룩 14.25 kg을 첨가하여 20°C에서 15일 동안 발효시켰다. 증류 조건으로는 제성을 통해 술지게미를 제거한 후 감압증류법은 각각 압력 50 cmHg, 60 cmHg의 조건에서 술덧 온도 60°C에서 증류를 진행하였으며 상압증류법은 초기 온도를 각각 80°C와 90°C로 시작하여 초류가 나올 때를 기준으로 95°C로 상승시켜 증류식 소주를 제조하였다. 증류분획은 초류는 전체 술덧의 3%를 채취하였으며 본류는 30%를 채취하였다.

본 실험에서는 알코올 함량이 40%가 되도록 조정하여 향아리와 스테인리스 용기에 동일한 양을 담아 20°C에 보관하며 분석시료로 사용하였다.

숙성 증류주의 일반 주류 분석

숙성중의 증류주의 물리화학적 성질에서 에탄올 함량은 일정량의 증류주를 메스실린더로 분주 후 주정계로 측정하

였다. 휘발 산도는 알코올 농도 측정에 사용한 증류액 10 mL를 취한 후, naphthalene을 2~3방울 가하여 0.01 N NaOH 용액으로 담녹색이 나타날 때까지 중화 적정하여 그때까지 소비된 NaOH의 양을 acetic acid로 환산하여 표시하였다(14). 유기산 중 acetic acid의 함량은 시료를 0.45 μ m membrane filter를 사용하여 여과한 후 HPLC(Agilent 1100 series UV/VIS detector, Agilent Technologies, Folsom, CA, USA)로 분석하였다(15,16). 유기산의 분석용 column으로는 Aminex Hpx-87H(Bio-Rad, Hercules, CA, USA)를 사용하였으며 detection wave-length/window 210 nm, oven의 온도는 35°C이었으며 flow rate 0.6 mL/min이었다. 표준물질로 acetic acid(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 사용하였다. Thiobarbituric acid(TBA)의 측정엔 시료 10 mL에 0.5%의 2-thiobarbituric acid(Sigma-Aldrich)를 함유한 50% 에탄올 수용액 2 mL를 가해서 혼합하고, 70°C에서 40분간 가열 후 바로 실온까지 냉각해서 적갈색으로 발색한 색도를 530 nm에서 측정하였다(8).

숙성 증류주 fusel alcohol 및 향기 성분 분석

증류주의 fusel alcohol 분석은 FID가 장착된 HPLC(Agilent 7830 series, Agilent Technologies)를 사용하였다. GC 분석에 의하여 분리된 각 peak 성분은 표준물질의 머무름 시간과 비교하여 동정하였다. 이때 사용한 표준물질(Sigma-Aldrich)은 n-propanol, isobutanol, isoamyl alcohol 등이었으며, 이들 물질의 표준 크로마토그램을 구하였다. 휘발성 성분의 분리를 위해 column은 DB-WAX(30 m \times 0.53 mm i.d., 1 μ m film thickness, J&W Scientific, Folsom, CA, USA)를 사용하였다. Oven의 온도는 45°C에서 2분간 유지한 다음 10°C/min 속도로 230°C까지 승온시킨 후 230°C에서 4.5분간 유지하였다. Carrier gas(He)의 유속은 4 mL/min으로 유지하였다. GC injector와 detector 온도는 각각 240°C로 설정하여 시료 1.0 μ L를 split ratio 20:1로 주입하였다(15).

휘발성 향기 성분은 시료 20 mL를 50 mL 유리 vial에 담아 알루미늄 캡을 이용하여 capping 후 SPME(solid phase microextraction) 방법을 이용하여 분석하였다. 시료를 70°C에서 20분간 평형 시킨 후 100 μ m polydimethylsiloxane이 코팅된 fiber를 이용하여 20분간 향을 포집하여 Stabilwax DA column(30 m length 0.25 μ m i.d. \times 0.25 μ m film thickness; Restek Corp., Bellefonte, PA, USA)이 장착된 mass selective detector(MSD)를 이용하여 분석하였다. 사용된 GC의 oven 온도는 40°C에서 2분간 유지 후 200°C까지 5°C/min의 속도로 상승시켰으며 200°C에서 5분간 유지시켰다. Injector 온도는 250°C, carrier gas로 helium을 사용하였다. MSD 조건은 capillary direct interface temperature 250°C, ion source temperature 230°C, EI ionization voltage 70 eV, mass range 45~550 a.m.u, 그리고 scan rate 2.2 scan/sec이었고 휘발성 화합

물 동정은 mass spectra와 aroma properties를 비교하여 확인하였다(16).

관능 평가

증류주의 관능검사는 Lee 등(17)의 방법을 일부 변형시켜 경기도농업기술원의 훈련된 패널 9명을 대상으로 실시하였다. 관능검사는 제조된 증류주에 대한 향, 맛 등에 대해 기호도를 1~9점의 척도로 표시하게 한 후 그 평균값을 구하여 향과 맛을 고려한 전체적인 기호도는 '가장 싫다' 1, '가장 좋다' 9의 점수로 표시하였으며 그 평균값을 정량적 묘사 분석 방법(quantitative descriptive analysis: QDA)으로 도식하였다. 통계분석은 SAS 프로그램(Statistical Analysis System, SAS Institute, Cary, NC, USA)을 이용하여 5% 유의 수준에서 Duncan's multiple range test로 각각의 변수에 대한 영향을 분석하였다.

결과 및 고찰

증류주의 숙성기간별 일반성분 분석

누룩을 사용한 발효주로부터 제조된 증류주의 숙성기간에 따른 알코올, 휘발 산도, acetic acid 분석 결과는 Table 1과 같다. 알코올 분석 결과 초기 알코올은 40.4~39.3%로 시작하였으며 숙성기간이 증가함에 따라 향아리와 스테인리스 용기에 따른 알코올 변화는 조금씩 감소하는 경향을 나타내었는데, 이것은 증류주 자체가 자연적인 알코올 휘발로(10) 생각되며 이러한 알코올 감소는 크지 않았다. 휘발 산도의 변화를 살펴본 결과 초기 증류 시 감압과 상압 조건에 따른 휘발 산도는 0.02~0.04%로 차이는 없었으며 이후 90일차 및 180일차 경과 후 분석한 결과에서는 감압증류 후 향아리와 스테인리스 용기에서 숙성한 증류주의 휘발 산도가 약간 상승하였는데, 이것은 Bae(10)가 기 보고한 증류주의 향아리 숙성 시 총산 증가 결과와 일치하였으나 상압증류의 경우 휘발 산도의 변화가 없었는데 이것은 누룩을 사용

한 발효주로부터 제조된 증류주에는 일본식 입국을 이용한 발효주로부터 제조된 증류주에 비해 에스테르가 적기 때문으로 생각한다.

본 실험의 누룩을 사용한 발효주로부터 제조된 증류주의 acetic acid 함량이 Yi 등(7)의 입국을 이용한 증류주보다 낮았는데 이것은 술덧 자체의 acetic acid 함량이 입국을 이용한 술덧보다 낮아서 증류 시 증류주로 넘어온 acetic acid 양도 적은 것으로 생각한다. 증류 조건에 따른 acetic acid의 함량은 감압 조건의 50, 60 cmHg에서 3.08±1.79, 4.19±1.98 ppm으로 상압 80, 90°C의 5.18±1.28, 4.38±1.69 ppm과 비슷한 함량을 보였으며, 숙성기간이 증가함에 따라 향아리와 스테인리스 용기 모두에서 변화하지 않았다. 이것은 증류주의 숙성 중에 에스테르의 가수분해에 의한 산성 물질의 증가와 물이나 에탄올이 휘발하여 산성 물질이 농축되어 acetic acid의 함량이 증가한다는 Bae(10)와 다른 결과로, 이것은 휘발 산도의 상압증류처럼 발효주에 에스테르가 적기 때문으로 생각한다.

다음으로 누룩을 사용한 발효주로부터 제조된 증류주의 숙성기간에 따른 2-thiobarbituric acid(TBA) 분석 결과는 Table 2와 같다. TBA는 일반적으로 유지의 산화 정도를 알아보는데 사용되며 증류주에서는 증류 시 술덧에서 넘어온 지방 성분들의 저장 중 변화를 살펴보는 지표성분으로 사용된다(8). 증류 직후의 TBA 측정값은 0일에 감압증류 50, 60 cmHg가 36.82±0.58, 20.21±3.61로 상압증류 80, 90°C의 72.79±5.00, 47.14±2.87에 비해 낮았다. 이것은 국세청 기술연구소의 현장 주질 관리 기술 책자(8)의 유취 전구물질인 불포화지방산이 상압증류에서 많이 유출된다는 결과와 일치한다. 숙성기간이 증가함에 따라 TBA 값은 향아리와 스테인리스 용기 모두 큰 변화가 없었으며 이것은 Bae(10)가 서술한 바와 같이 향아리에 의한 숙성과정 중에 지방산 성분 중 8가지 성분이 증가한다는 실험 결과와 다른 것으로 이것은 일본식 소주 제조 방법과 누룩을 이용한 우리의 증류식 소주 제조 방법 차이인 것으로 생각된다. 본 실험

Table 1. Change of alcohol, volatile acid, and acetic acid during aging period of distilled liquors made with *Nuruk*

	Aging period (days)	Jar (Hangari)				Stainless steel container			
		RP ¹⁾		AP		RP		AP	
		50 cmHg	60 cmHg	80°C	90°C	50 cmHg	60 cmHg	80°C	90°C
Alcohol (%)	0	39.3±0.5 ^a	39.9±0.4 ^a	39.7±0.1 ^a	40.4±0.7 ^a	39.3±0.5 ^a	39.9±0.4 ^a	39.7±0.1 ^a	40.4±0.7 ^a
	90	38.1±0.5 ^a	38.9±1.7 ^a	39.1±1.0 ^a	39.1±0.8 ^a	38.2±1.1 ^a	39.0±0.6 ^a	38.9±1.1 ^a	38.0±1.4 ^a
	180	38.5±1.3 ^a	38.2±1.6 ^a	38.0±1.0 ^a	38.1±1.0 ^a	38.2±1.2 ^a	38.9±1.4 ^a	38.1±1.5 ^a	38.9±1.2 ^a
Volatile acid (%)	0	0.02±0.01 ^a	0.02±0.00 ^a	0.02±0.01 ^a	0.04±0.02 ^a	0.02±0.01 ^a	0.02±0.00 ^a	0.02±0.01 ^a	0.04±0.02 ^a
	90	0.03±0.01 ^{ab}	0.03±0.01 ^{ab}	0.02±0.02 ^a	0.04±0.03 ^a	0.03±0.01 ^a	0.03±0.01 ^{ab}	0.02±0.01 ^a	0.05±0.02 ^a
	180	0.04±0.01 ^b	0.05±0.01 ^b	0.02±0.03 ^a	0.04±0.03 ^a	0.05±0.01 ^b	0.04±0.01 ^b	0.02±0.01 ^a	0.04±0.02 ^a
Acetic acid (ppm)	0	3.08±1.79 ^a	4.19±1.98 ^a	5.18±0.58 ^a	4.38±1.69 ^a	3.08±1.79 ^a	4.19±1.98 ^a	5.18±0.58 ^b	4.38±1.69 ^a
	90	3.14±1.07 ^a	3.17±1.28 ^a	5.51±1.92 ^a	3.37±1.59 ^a	3.87±1.90 ^a	3.45±1.48 ^a	3.79±1.09 ^a	3.66±1.69 ^a
	180	3.91±0.92 ^a	3.90±0.73 ^a	4.68±1.45 ^a	4.00±1.65 ^a	3.82±1.70 ^a	4.13±0.81 ^a	4.53±1.58 ^{ab}	4.15±1.91 ^a

Each value is expressed as mean±SD (n=3).

¹⁾RP: reduced pressure, AP: atmospheric pressure.

Different letters (a,b) show significant difference by Duncan's multiple range test at *P*<0.05.

Table 2. Change of 2-thiobarbituric acid during aging period of distilled liquors made with *Nuruk*

Aging period (days)	Jar (Hangari)				Stainless steel container			
	RP ¹⁾		AP		RP		AP	
	50 cmHg	60 cmHg	80°C	90°C	50 cmHg	60 cmHg	80°C	90°C
0	36.82±0.58 ^a	20.21±3.61 ^a	72.79±5.00 ^a	47.14±2.87 ^b	36.82±0.58 ^a	20.21±3.61 ^a	72.79±5.00 ^a	47.14±2.87 ^a
90	45.57±4.28 ^b	18.54±3.12 ^a	64.70±3.25 ^a	38.87±4.32 ^a	38.03±3.23 ^a	35.93±6.24 ^b	82.02±4.54 ^b	39.49±3.76 ^a
180	39.09±2.78 ^a	14.72±6.89 ^a	65.38±3.66 ^a	48.57±3.98 ^b	34.59±7.96 ^a	19.38±2.10 ^a	77.05±2.78 ^a	42.43±4.89 ^a

Each value is expressed as mean±SD (n=3).

¹⁾RP: reduced pressure, AP: atmospheric pressure.

Different letters (a,b) show significant difference by Duncan's multiple range test at $P<0.05$.

증류주들은 시판 제품의 TBA 측정값인 5.38에 비해서는 높은 TBA 분석치를 보였는데 이것은 실험 증류주들이 제품화 공정의 지방산 제거 공정을 거치지 않았기 때문으로 생각된다.

증류주의 숙성기간별 fusel alcohol 분석

주류에 함유되어 있는 고급 알코올은 에스테르 화합물과 더불어 특유의 향기를 결정하는 주요한 인자이다(7). 증류주의 n-propanol, iso-butanol, isoamyl alcohol의 숙성기간에 따른 향아리(A) 및 스테인리스(B)의 보관 분석 결과는 Fig. 1과 같다. 누룩을 사용한 발효주로부터 제조된 증류주의 증류 직후 n-propanol 분석 결과는 압력 50, 60 cmHg에서 312.12±3.15, 308.71±5.43 ppm, 상압 80, 90°C에서는 314.52±14.59, 348.57±30.09 ppm이었으며, iso-butanol 분석 결과는 압력 50, 60 cmHg에서 548.46±32.60, 521.17±25.42 ppm, 상압 80, 90°C에서는 702.15±27.32, 712.41±17.23 ppm의 분석 결과가 나왔다. Isoamyl alcohol 분석 결과는 압력 50, 60 cmHg에서 1,334.93±83.22, 1,300.38±45.66 ppm, 상압 80, 90°C에서는 1,322.46±

55.16, 1,454.70±97.23 ppm이었다. 본 연구에서는 가장 함량이 높은 fusel alcohol은 isoamyl alcohol로 확인되었는데, 이는 Han 등(18)이 누룩 증류를 달리하여 제조한 약주에서 fusel alcohol 성분을 분석하였을 때 isoamyl alcohol이 가장 많이 함유되어 있었다는 보고와 일치한다. 모든 분석 결과에서 상압증류와 감압증류의 n-propanol, iso-butanol, isoamyl alcohol은 그 차이는 크지 않았으며, 이것은 국제청 기술연구소(14)의 연구 결과인 저비점 fusel alcohol의 상압과 감압 증류가 비슷하다는 것과 일치하였다.

감압증류 제품은 고비점 성분이 유출되지 않아 향미가 가볍고 불쾌한 뒷맛이 없는 것으로 보고되고 있으며, 상압증류와 감압증류에 의하여 제조한 증류식 소주의 휘발성 성분의 차이는 상압증류 한 경우 술덧이 고온에서 장시간 가열되므로 술덧 중에 가열에 의한 분해 성분 및 축합 성분 등이 생기고, 이들 성분 중 휘발성 성분이 제품으로 이해되어 원료 특성을 나타내는 성분이 되고 주질을 저하시키는 원인이 된다고 한다(7).

숙성기간에 따라 향아리 및 스테인리스의 n-propanol은 증류 직후 0일에는 그 차이가 크지 않았으며 숙성기간에 따

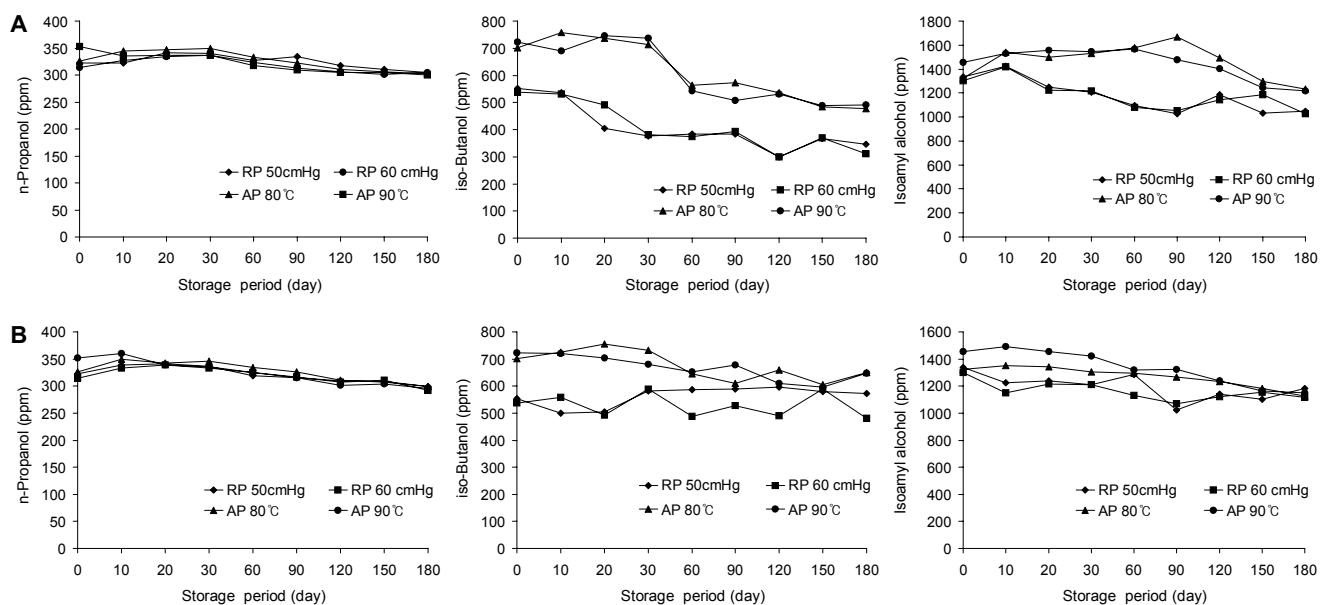


Fig. 1. Change of fusel alcohol during aging period of distilled liquors made with *Nuruk*. (A) Jar (Hangari), (B) stainless steel container. RP: reduced pressure, AP: atmospheric pressure. Each value is expressed as mean±SD (n=3).

라 크게 감소하거나 상승하지 않았다. Iso-butanol의 경우에는 0일차 감압증류주의 경우 측정값이 548.46, 521.17 ppm으로 상압 702.15, 712.41 ppm보다 낮게 측정되었고 숙성기간 180일을 지나면서 향아리의 감압증류 50 cmHg는 345.36 ppm으로, 60 cmHg는 310.03 ppm으로 감소하였으며 상압 80°C는 477.19 ppm, 90°C에서는 491.90 ppm으로 감소하였다. 반면 스테인리스 용기는 큰 변화가 없었다. 또한 isoamyl alcohol은 0일차에 감압, 상압의 차이가 크지 않았으며 숙성기간 동안 조금씩 감소하여 180일차에는 0일차보다 감소한 값을 나타내었다. 이러한 변화는 산화적 조건 하에서 자극적인 가스 취 성분인 휘발성의 알데히드류와 유허 화합물이 없어지고 에스테르류가 생성되면서 방향이 증가하는데, 특히 스테인리스 용기에 비해 향아리의 경우 공기의 투과성이 크기 때문에 숙성기간이 지나면서 다양한 산화 반응에 의해 일부 fusel alcohol이 변화된다고 알려져 있다(8).

Fusel alcohol 중에서도 고급알코올류인 n-propanol(P), isobutanol(B), isoamyl alcohol(A)이 향기 성분에 있어 중요한 역할을 하며 양적인 구성 외에 n-propanol(P), isobutanol(B), isoamyl alcohol(A)의 함유 비율(A/P비, A/B비, B/P비)도 제품의 특징을 결정짓는 데 중요한 역할을 하며(19) 그 결과는 Table 3과 같다. 향아리(A)의 경우 술덧을 증류한 직후 0일차에는 A/B의 비율은 감압이 2.42로 상압 1.89, 2.01 비율보다 높았으며 숙성기간이 경과함에 따라 비율이 상승하였다. A/B비는 누룩 사용이 적은 소주(태국 등의 인디카형 쌀 사용)에서 비교적 낮은 값을 나타내는 반면 황국을 사용하여 누룩 사용량이 많은 것, 또는 발효물의 급수 비율이 적은 소주에서 일반적으로 높게 나타나는 것으로 알려져 있다(9). 다음으로 A/P비는 사탕수수, 감자 등의 과피를 가지는 원료에서 높게 나타나는 반면 도정한 곡물을 원료로 한 제품에서는 낮게 나타나는 것으로 알려져 있으며(9), A/P의 비율은 0일차에 감압, 상압에서 큰 차이가 없는

4.06~4.14였으며 Yi 등(7)의 입국으로 제조한 증류주의 3.04, 3.45보다 높은 비율이었는데, 이것은 isoamyl alcohol(A)이 누룩을 사용하여 술덧을 만들었을 때 입국을 사용하여 술덧을 만들었을 때보다 다소 많이 검출되는 결과(7)와 유사하였으며 In 등(6)의 실험 결과의 A/P 비율과도 비슷한 결과였다. 다음으로 B/P의 경우 쌀 소주는 위스키에 비해 n-propanol(P)이 많고 isobutanol(B)이 매우 적기 때문에 B/P비는 양주에 비해 낮은 특성이 있다고 알려져 있으며(9), 증류 0일차에는 감압이 상압보다 낮게 측정되었고 숙성기간이 지날수록 감압, 상압 증류주의 B/P의 비율은 조금씩 감소하였다. 스테인리스 용기의 경우 0일차에는 A/B의 비율은 감압이 2.42로 상압 1.89, 2.01에서 숙성 180일차에는 감압 50, 60 cmHg는 2.06, 2.32, 상압 80, 90°C는 1.73, 1.77로 큰 변화가 없었다. 나머지 A/P와 B/P 역시 숙성에 따른 큰 변화는 없었다.

증류주의 숙성기간별 향기 성분 분석

술의 향기 성분은 본질적으로는 누룩미생물이나 효모에 의해서 생성되지만 소주 원료에 의해서도 크게 좌우된다. 이 중 대부분의 증류식 소주에 함유되어 있는 주요한 성분은 에스테르류(예: 초산과 알코올이 결합한 초산에스테르류)와 지방산 에스테르들이며 소주 발효과정에서는 알코올 외에 퓨젤유(고급알코올)가 생성된다. 이 퓨젤유 성분은 미량만으로도 소주의 풍미를 좌우하는 중요한 성분으로 이러한 성분들이 소주의 향기에 가장 큰 역할을 한다(1). 누룩을 사용한 발효주로부터 제조된 증류주의 향기 성분 분석 결과는 Table 4와 같다. 증류 0일의 경우 감압증류에서 높은 area %를 나타낸 것은 isobutyl alcohol, isoamyl alcohol, dodecanoic acid, phenylethyl alcohol 등이다.

누룩을 사용한 발효주로부터 제조된 증류주 중 감압증류 50, 60 cmHg의 향아리 용기 숙성기간 중 휘발성 향기 성분 결과는 Table 4와 같다. 상압증류보다 감압증류에서 높은

Table 3. Change of fusel alcohol ratio during aging period of distilled liquors made with *Nuruk*

Ratio	Condition	Jar (Hangari)			Stainless steel container		
		0 day	90 day	180 day	0 day	90 day	180 day
A/B ¹⁾	RP ²⁾ 50 cmHg	2.42	2.68	3.03	2.42	1.74	2.06
	RP 60 cmHg	2.42	2.68	3.31	2.42	2.02	2.32
	AP 80°C	1.89	2.91	2.58	1.89	2.08	1.73
	AP 90°C	2.01	2.91	2.48	2.01	1.95	1.77
A/P	RP 50 cmHg	4.14	3.08	3.43	4.14	3.23	3.95
	RP 60 cmHg	4.14	3.36	3.37	4.14	3.37	3.83
	AP 80°C	4.06	5.17	4.08	4.06	3.89	3.76
	AP 90°C	4.13	4.76	4.06	4.13	4.19	3.88
B/P	RP 50 cmHg	1.71	1.15	1.13	1.71	1.86	1.92
	RP 60 cmHg	1.71	1.26	1.02	1.71	1.67	1.65
	AP 80°C	2.15	1.78	1.58	2.15	1.87	2.17
	AP 90°C	2.05	1.63	1.64	2.05	2.15	2.19

¹⁾A: isoamyl alcohol, B: isobutyl alcohol, P: n-propanol.

²⁾RP: reduced pressure, AP: atmospheric pressure.

Table 4. Volatile compounds obtained distilled liquor made with *Nuruk* under reduced pressures (Unit: peak area %)

No.	RT	Compound	Jar (Hangari)						Stainless steel container					
			50 cmHg			60 cmHg			50 cmHg			60 cmHg		
			0	90	180	0	90	180	0	90	180	0	90	180
1	4.09	Ethanol	91.54	88.54	85.06	88.90	88.54	88.07	91.54	94.32	92.98	88.90	94.51	92.47
2	5.93	n-Propanol	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	7.29	Isobutyl alcohol	0.88	0.66	0.41	0.85	0.66	0.41	0.88	0.70	0.86	0.85	0.97	0.86
4	8.18	1-Butanol	0.03	—	—	—	—	—	0.03	—	—	—	—	—
5	9.87	Isoamyl alcohol	2.90	2.70	2.39	2.75	2.70	2.39	2.90	2.78	3.36	2.75	3.35	3.16
6	15.65	Ethyl octanoate	0.05	0.06	—	—	0.06	—	—	0.09	0.01	—	0.06	0.03
7	20.66	Decanoic acid, ethyl ester	—	0.19	—	0.05	0.19	—	—	0.62	0.26	0.05	0.19	0.19
8	21.1	Octanoic acid	0.10	—	—	—	—	—	0.10	0.02	—	—	0.01	—
9	21.59	Butanedioic acid, diethyl ester	0.01	—	0.02	0.01	—	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	—	—
10	25.18	Dodecanoic acid, ethyl ester	0.22	0.20	0.04	0.25	0.20	0.04	0.22	0.21	0.26	0.25	0.05	0.16
11	25.37	Pentadecanoic acid	—	0.02	—	—	0.02	—	—	0.01	0.01	—	—	0.01
12	26.74	Phenylethyl alcohol	0.56	0.22	0.53	0.18	0.22	0.53	0.56	0.11	0.17	0.18	0.08	0.20
13	29.33	Ethyl myristate	0.01	0.67	1.14	—	0.67	1.14	0.01	0.05	0.17	—	0.04	0.15
14	31.27	Pentadecanoic acid, ethyl ester	0.01	0.05	0.09	—	0.05	0.09	0.01	—	0.01	—	—	—
15	33.18	Ethyl palmitate	0.09	0.01	0.03	—	0.01	0.02	0.09	0.05	0.65	—	0.05	0.58
16	37.36	Octadodecanoic acid, ethyl ester	0.20	0.38	0.96	0.21	0.38	0.96	0.20	—	0.02	0.21	—	0.02
17	39.29	Octadecadienoic acid, ethyl ester	0.20	0.81	1.64	—	0.81	1.64	0.20	—	0.14	—	—	0.02
		Others	3.90	5.48	7.70	4.65	5.48	4.70	3.90	1.04	1.10	4.65	0.67	2.14
		Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Each value is expressed as mean (n=3).

%를 나타낸 것은 octadodecanoic acid이었으며 맥주의 방향족 알코올 성분 중 가장 중요한 향기 성분인 phenylethyl alcohol이 감압증류에서 더 검출되었다. 꽃향기처럼 좋은 향을 내는 n-propanol은 0일 이후에 검출되지 않았으며 isobutyl alcohol과 ethyl octanoate는 숙성기간이 증가할수록 감소하였으며 isoamyl alcohol(16)과 phenylethyl alcohol(20)은 숙성에 따른 큰 변화가 없었다. 다음으로 ester 중 부드러운 향을 나타내는 ethyl palmitate는 숙성기간이 지날수록 감소하였다. 감압증류 60 cmHg에서 acetaldehyde는 검출이 되지 않았으며 n-propanol은 0일 이후에 검출되지 않았다. Isobutyl alcohol은 숙성기간이 증가함에 따라 감소하였으며 isoamyl alcohol은 큰 변화가 없었다.

다음으로 감압증류 50 cmHg의 스테인리스 용기 숙성기간 중 휘발성 향기 성분 결과 중 isoamyl alcohol은 숙성기간이 지날수록 증가하였으며 isobutyl alcohol은 숙성기간이 지날수록 감소하였으며 향기 성분 중 가장 높은 비율을 차지하였다. Decanoic acid는 증가하였으며 octadodecanoic acid와 phenylethyl alcohol은 숙성기간이 지남에 따라 감소하였다. 감압증류 60 cmHg의 경우 isobutyl alcohol은 숙성기간이 지나도 큰 변화가 없었으며 향기 성분 중 가장 높은 비율을 차지하였다.

누룩을 사용한 발효주로부터 제조된 증류주 중 상압증류 80, 90°C의 향아리 용기의 숙성기간 중 휘발성 향기 성분

결과는 Table 5와 같다. 감압증류보다 상압증류에서 높은 값을 나타낸 것은 decanoic acid, ethyl myristate, ethyl palmitate였다. 이 중 장미, 오렌지 꽃과 같은 천연 정유에서 발견되는(16) isoamyl alcohol로 증류 0일차에는 감압, 상압 증류에서 큰 차이를 보이지 않았으나 가장 높은 비율을 나타내었다. 달콤하면서 견과류의 향 특성을 나타내는 decanoic acid(20)는 감압증류보다 상압증류에서 많이 측정되었다. Isobutyl alcohol과 isoamyl alcohol은 숙성기간이 지나면서 감소하였으며 ethyl octanoate는 향아리 용기에서 큰 변화가 없었으며 ethyl palmitate는 숙성기간이 지날수록 증가하였다. 상압증류 90°C의 향기 성분 결과는 전체적으로 숙성기간이 증가할수록 사라지는 향기 성분과 생성되는 향기 성분을 확인할 수 있으며 특히 isobutyl alcohol, isoamyl alcohol은 감소하는 모습을 보였다.

상압증류 80°C의 스테인리스 용기의 숙성기간 중 휘발성 향기 성분 결과 중 isobutyl alcohol은 숙성기간이 지나면서 감소하였다. Decanoic acid는 숙성 시간이 지나면서 감소하여 검출되지 않았으며 과일 향과 꽃향 향 그리고 oil 향 특성을 나타내는 dodecanoic acid는 시간이 지남에 따라 큰 변화가 없었다. 상압증류 90°C의 isoamyl alcohol은 숙성기간이 지날수록 상승하였으며 isobutyl alcohol은 숙성기간이 지나면서 변화가 없었다. Phenylethyl alcohol 역시 숙성기간이 지남에 따라 소량 증가하였으며 ethyl palmitate는

Table 5. Volatile compounds obtained distilled liquor made with *Nuruk* under atmospheric pressures (Unit: peak area %)

No.	RT	Compound	Jar (Hangari)						Stainless steel container					
			80°C			90°C			80°C			90°C		
			0	90	180	0	90	180	0	90	180	0	90	180
1	4.09	Ethanol	92.97	86.54	85.84	93.34	89.72	90.24	92.97	91.70	91.00	93.34	92.76	92.10
2	5.93	n-Propanol	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	7.29	Isobutyl alcohol	0.92	0.89	0.28	1.11	0.61	0.30	0.92	1.24	0.59	1.11	1.02	1.20
4	8.18	1-Butanol	0.01	—	—	0.01	—	—	0.01	—	—	0.01	—	—
5	9.87	Isoamyl alcohol	2.95	3.35	2.01	3.01	2.68	2.11	2.95	2.18	2.45	3.01	4.02	4.24
6	15.65	Ethyl octanoate	0.04	0.09	—	0.03	0.03	—	0.04	0.02	—	0.03	0.03	—
7	20.66	Decanoic acid, ethyl ester	0.31	0.74	—	0.23	0.47	—	0.31	0.21	—	0.23	0.33	0.05
8	21.1	Octanoic acid	0.01	0.06	—	0.01	—	—	0.01	—	—	0.01	0.02	—
9	21.59	Butanedioic acid, diethyl ester	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	25.18	Dodecanoic acid, ethyl ester	0.17	0.79	1.60	0.15	1.07	1.60	0.17	0.19	0.16	0.15	0.19	0.07
11	25.37	Pentadecanoic acid	—	0.09	0.27	—	0.12	0.32	—	0.02	0.04	—	0.01	0.01
12	26.74	Phenylethyl alcohol	0.02	0.05	0.17	0.02	0.05	0.12	0.02	0.03	0.06	0.02	0.06	0.06
13	29.33	Ethyl myristate	0.16	0.66	0.04	0.17	0.53	0.67	0.16	0.36	0.68	0.17	0.10	0.09
14	31.27	Pentadecanoic acid ethyl ester	—	0.08	0.43	—	0.17	0.57	—	0.01	0.14	—	—	—
15	33.18	Ethyl palmitate	0.27	0.92	0.51	0.37	0.73	0.63	0.27	1.47	1.56	0.37	0.33	0.76
16	37.36	Octadodecanoic acid, ethyl ester	—	0.48	0.26	0.01	0.61	0.34	—	0.13	0.73	0.01	0.01	0.03
17	39.29	Octadecadienoic acid, ethyl ester	—	0.18	0.13	0.26	0.26	0.44	—	0.20	0.65	0.26	—	—
		Others	2.05	5.06	8.45	1.29	2.93	2.66	2.05	2.22	1.94	1.29	1.12	1.40
		Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

증가하였다.

요 약

증류주의 숙성기간별 관능검사

누룩을 사용한 발효주로부터 제조된 증류주의 숙성기간별 관능검사 결과는 Table 6과 같다. 증류가 끝난 직후의 알코올을 25%로 조정 후의 관능은 감압증류주가 상압증류주에 비해 좋은 관능 결과를 나타내었다. 이것은 일반적으로 상압증류의 경우는 향미가 농후하고 감압증류의 경우에는 향미가 담백한 특징(10)을 나타내기 때문으로 생각된다.

항아리와 스테인리스 용기에 증류주를 숙성한 결과 항아리에 숙성한 증류주의 경우 숙성기간이 지나면서 전체적인 기호도가 증가하였으며 특히 상압증류의 관능점수가 많이 증가하였다. 하지만 최종 180일에서는 감압 50 cmHg로 증류한 증류주를 항아리에 보관했을 때 6.67로 가장 높은 관능 점수를 얻었다. 이것은 항아리의 경우 숙성과정 중 화학적 변화에 의해 향미 성분의 산화적 조건으로 자극적인 가스 취 성분인 알데히드류와 유황 화합물이 없어지고 에스테르류가 생성되면서 방향이 증가되는 작용과 물리적으로 항아리로부터 금속성분의 용출이나 알코올과 물 분자의 회합으로 인해 관능이 달라진다는 결과(8)와 비슷하였다. 반면 스테인리스 용기에 넣고 숙성을 시킨 증류주의 경우 감압증류주에서는 관능점수의 변화가 크지 않았으며 상압증류주에서는 관능점수가 상승하는 경향을 보였다.

본 연구에서는 누룩 사용 발효주로 제조한 증류주를 국내에서 일반적으로 사용하고 있는 항아리와 스테인리스 용기에 숙성시키며 숙성기간별 증류주의 특성을 검토하였다. 알코올 분석 결과 알코올은 40.4~39.3%로 시작하였으며 숙성기간이 증가함에 따라 항아리와 스테인리스 용기의 알코올은 조금씩 감소하는 경향을 나타냈다. 휘발 산도는 감압증류 항아리 및 스테인리스 용기 숙성에서 약간 상승하였다. Acetic acid의 함량은 숙성기간이 증가함에 따라 항아리와 스테인리스 용기 모두에서 변화하지 않았다. 2-Thiobarbituric acid(TBA)는 증류 직후 감압증류가 상압증류보다 낮았으며 숙성기간이 증가함에 따라 TBA 값은 항아리와 스테인리스 용기 모두 큰 변화가 없었다. 숙성에 따른 증류주의 fusel alcohol 중 n-propanol은 숙성기간이 증가함에 따라 상승하지 않았으며 iso-butanol은 항아리 숙성의 경우 측정 값이 감소하였으나 스테인리스 용기는 변화가 없었다. 향기 성분의 경우 항아리 보관에서 증류 직후보다 180일에서 좀 더 다양한 향기 성분이 측정되었으며 특히 고비점의 향기 성분들이 많아졌다. 스테인리스 용기 역시 0일차보다 180일에 좀 더 다양한 향기 성분이 나타났으나 그 양은 상대적으로 항아리보다 적었다. 항아리 숙성 관능 결과 180일에는 감압 50 cmHg의 관능점수가 가장 높았으며 상압 80°C 증류주는 0일에 비해 180일의 관능이 가장 많이 향상되었다.

Table 6. Quantitative description analysis (QDA) profile during aging period of distilled liquors made with *Niruk*

Sensory evaluation	0 day						180 day						
	Color	Alcohol flavor	Flavor	Taste	Swallowing acceptance	Overall acceptance	Color	Alcohol flavor	Flavor	Taste	Swallowing acceptance	Overall acceptance	
Jar	RP ¹⁾ 50 cmHg	6.33±1.03 ^b	4.37±0.87 ^b	4.47±0.12 ^b	4.17±0.64 ^b	4.50±0.64 ^b	4.73±0.53 ^b	6.00±0.50 ^{ab}	5.67±1.15 ^a	5.67±1.26 ^a	4.50±0.87 ^a	4.50±0.87 ^b	6.67±1.15 ^b
	RP 60 cmHg	6.47±0.53 ^b	3.97±0.72 ^b	3.93±0.35 ^b	4.33±0.60 ^b	4.03±0.12 ^b	4.30±0.53 ^b	7.00±0.50 ^b	5.17±0.76 ^a	5.00±0.00 ^a	4.17±1.04 ^a	3.83±1.26 ^a	5.33±0.76 ^a
(Hangari)	AP 80°C	3.60±3.12 ^a	1.60±1.51 ^a	1.73±1.55 ^a	1.60±1.51 ^a	1.87±1.63 ^a	1.87±1.72 ^a	4.50±1.41 ^a	4.50±1.12 ^a	4.75±0.35 ^a	4.63±0.88 ^a	3.50±0.35 ^a	4.00±0.71 ^a
	AP 90°C	5.57±1.45 ^b	3.07±0.35 ^b	3.47±0.60 ^b	3.40±0.92 ^b	2.87±0.31 ^a	3.13±1.10 ^a	6.00±1.80 ^{ab}	5.67±1.15 ^a	5.00±0.00 ^a	3.83±0.76 ^a	4.00±0.71 ^a	4.33±0.76 ^a
Stainless steel container	RP ¹⁾ 50 cmHg	6.33±1.03 ^b	4.37±0.87 ^b	4.47±0.12 ^b	4.17±0.64 ^b	4.50±0.64 ^b	4.73±0.53 ^b	7.00±1.32 ^a	4.83±1.26 ^a	4.50±1.32 ^a	3.83±1.04 ^a	4.00±1.32 ^a	4.17±1.61 ^a
	RP 60 cmHg	6.47±0.53 ^b	3.97±0.72 ^b	3.93±0.35 ^b	4.33±0.60 ^b	4.03±0.12 ^b	4.30±0.53 ^b	6.67±0.58 ^a	4.17±1.04 ^a	3.83±1.44 ^a	4.33±1.44 ^a	4.00±1.32 ^a	4.00±1.32 ^a
	AP 80°C	3.60±3.12 ^a	1.60±1.51 ^a	1.73±1.55 ^a	1.60±1.51 ^a	1.87±1.63 ^a	1.87±1.72 ^a	5.75±1.06 ^a	3.25±1.06 ^a	2.50±0.71 ^a	3.00±0.71 ^a	2.75±0.35 ^a	3.00±0.71 ^a
	AP 90°C	5.57±1.45 ^{ab}	3.07±0.35 ^b	3.47±0.60 ^b	3.40±0.92 ^b	2.87±0.31 ^{ab}	3.13±1.10 ^b	5.83±1.61 ^a	4.00±1.00 ^a	3.50±0.87 ^a	3.33±1.04 ^a	3.67±1.15 ^a	3.33±1.04 ^a

Each value is expressed as mean±SD (n=3).

¹⁾RP: reduced pressure, AP: atmospheric pressure.

Different letters (a,b) show significant difference by Duncan's multiple range test at $P < 0.05$.

감사의 글

본 연구는 농림축산식품부 고부가 식품기술개발사업 (312011-05-1-HD020)의 지원으로 수행한 연구 결과의 일부로서 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. Lee DH, Lee YS, Cho CH, Park IT, Kim JH, Ahn BH. 2014. The qualities of liquor distilled from *Ipguk (koji)* or *Nuruk* under reduced or atmospheric pressure. *Korean J Food Sci Technol* 46: 25-32.
2. Lee Y, Eom T, Cheong C, Cho H, Kim I, Lee Y, Kim M, Yu S, Jeong Y. 2013. Quality characteristics of spirits by different distillation and filtration. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 42: 2012-2018.
3. Jang JH. 1989. History of Korean tradition liquor. *Korean J Dietary Culture* 4: 271-274.
4. Kim HR, Jo SJ, Lee SJ, Ahn BH. 2008. Physicochemical and sensory characterization of a Korean traditional rice wine prepared from different ingredients. *Korean J Food Sci Technol* 40: 551-557.
5. Min YK, Yun HS, Jeong YS. 1992. Change in compositions of liquor fractions distilled from Samil-ju with various distillations. *Korean J Food Sci Technol* 24: 440-446.
6. In HY, Lee TS, Lee DS, Noh BS. 1995. Volatile components and fusel oils of sojues and mashes brewed by Korean traditional method. *Korean J Food Sci Technol* 27: 235-240.
7. Yi HC, Moon SH, Park JS, Jung JW, Hwang KT. 2010. Volatile compounds in liquor distilled from mash produced using *koji* and *nuruk* under reduced or atmospheric pressure. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39: 880-886.
8. Technical Service Institute. 2008. Alcoholic liquors quality technic of field. National Tax Service Administration, Seoul, Korea. p 111-343.
9. FACT. 2001. Woorisool treasure house. Foundation of Agricultural Technology Commercialization and Transfer, Suwon, Korea. p 230-256.
10. Bae SM. 2001. *Distilled soju production technology*. Wogok Pub. Co., Seoul, Korea. p 166-306.
11. Hong Y, Park SK, Choi EH. 1999. Flavor characteristics of Korean traditional distilled liquors produced by co-culture *Saccharomyces* and *Hansenula*. *Kor J Appl Microbiol Biotechnol* 27: 236-245.
12. Kim YG. 2013. Quality characteristics of distilled spirits during aging period using pear. *PhD Dissertation*. Seoul Venture University, Seoul, Korea. p 1-75.
13. Park CM. 2007. Optimization of alcohol fermentation and aging conditions for a development of a distilled alcoholic beverage using barley grains. *MS Thesis*. Kyungpook National University, Daegu, Korea. p 1-38.
14. Technical Service Institute, National Tax Service Administration. 1997. *Textbook of alcoholic beverage-making*. Technical Service Institute, National Tax Service Administration, Seoul, Korea.
15. So MH, Lee YS, Noh WS. 1999. Changes in microorganisms and main components during Takju brewing by a modified Nuruk. *Korean J Food & Nutr* 12: 226-232.
16. Kim HR, Lee AR, Kwon YH, Lee HJ, Jo SJ, Kim JH, Ahn BH. 2010. Physicochemical characteristics and volatile compounds of glutinous rice wines depending on the milling degrees. *Korean J Food Sci Technol* 42: 75-81.
17. Lee DH, Kim JH, Lee JS. 2009. Effect of pears on the quality and physiological functionality of *Maekgeol*. *Korean J Food & Nutr* 22: 606-611.
18. Han EH, Lee TS, Noh BS, Lee DS. 1997. Volatile flavor components in mash of *Takju* prepared by using different *Nuruk*. *Korean J Food Sci Technol* 29: 563-570.
19. Bae SM, Jung SY, Jung IS, Ko HJ, Kim TY. 2003. Effect of the amount of water on the yield and flavor of Korean distilled liquor based on rice and corn starch. *J East Asian Soc Dietary Life* 13: 439-446.
20. Kwon YH, Jo SJ, Kim HR, Kim JH, Ahn BH. 2010. Fermentation characteristics and volatile compounds in *yakju* made with various brewing conditions; glutinous rice and pre-treatment. *Kor J Microbiol Biotechnol* 38: 46-52.