

IIE3120 Production Planning

2022-2 Case Study 1

Team 4

2019147019 강세정

2019147003 김규현

2019147010 이상욱

2019147016 장우영

목차

문제 [1].....	3
(1) Annual Demand (R)	
(2) Setup Cost (S)	
(3) Unit Cost (C)	
(4) Carrying Cost (K)	
(5) EOQ & ROP 재계산	
문제 [2].....	8
문제 [3].....	9
(1) 높은 Holding	
(2) 높은 Penalty cost	
(3) Label changeover 비용	
문제 [4].....	10
(1) 더 나은 시스템	
(2) 개선방안	
문제 [5].....	12
(1) 시도표를 통한 계절성 판단	
(2) Seasonal Factor 을 이용한 계절성 강도 측정	
(3) 분해법을 이용한 계절성 강도 측정	
(4) D8 F 검정을 통한 계절성 강도 검정	
문제 [6].....	17
(1) 제안 사항	
(2) 제안 목표	
Appendix	20
(1) 분해법을 이용한 F_s 계산 R 코드 및 결과	
(2) 주종별 D8 F 검정을 위한 통계량 F_s 계산 과정	

[1] Do you think that the costs are relevant? Correct the EOQ and ROP quantities for each of the five items mentioned in the case. How do the corrected figures compare with the quantities calculated in 1969 and with production volumes scheduled for the June 1972 bottling run?

(1) Annual Demand (R)

Demand를 계산하기 위해서는 본문에 나와 있는 1971년 2월부터 1972년 5월까지의 Monthly Sales Data를 이용했다. 그리고, 이 값은 EOQ모델에 사용할 값이기 때문에 Demand가 일정하다는 가정하에 Demand를 구해야 한다. 그래서 Annual Demand를 구하기 위해서 전체 데이터 중에서 최근 12개월치 데이터인 1971년 6월부터 1972년 5월까지의 수요의 합으로 Annual Demand를 구했다.

그런데, 이 데이터에는 이후 [5]에서 설명하듯이, Seasonality가 있다고 판단한 주종과 없다고 판단한 주종이 있다. 이를 고려하여 Seasonality가 존재한다고 판단한 주종은 그 주기를 고려하여 Annual Demand를 구해야 할 수도 있겠다. 하지만, 우리는 분기(4달)를 기준으로 계절성을 평가했기에 계절성의 유무와 관계없이, Annual Demand(EOQ모델에서는 일정하다고 가정)를 계산하기 위해 주어진 12개월치 데이터를 이용하여 평균을 구했다.

	Vodka	Gin	Scotch	Whiskey	Rum
June. 1971	284	150	127	217	33
July. 1971	343	257	96	207	35
Aug. 1971	368	179	85	186	51
Sept. 1971	230	83	61	171	16
Oct. 1971	162	72	67	205	15
Nov. 1971	246	89	103	266	26
Dec. 1971	252	181	131	257	43
Jan. 1972	114	42	39	654	22
Feb. 1971	210	166	82	177	11
March. 1972	303	142	68	163	28
April. 1972	275	133	66	162	61
May. 1972	463	213	38	256	55
Annual Demand	3250	1707	963	2921	396
Average	270.833	142.25	80.25	243.417	33

(2) Setup Cost (S)

Setup cost에는 Blending Setup Cost, Size Change Over Cost, Label Change Over Cost, Order Processing Cost가 들어가게 된다. 이 중 Blending Setup Cost와 Size Change Over Cost는 Bob과 Eliot의 연봉과 Setup에 필요한 시간을 기준으로 한다. 이 두 비용은 종업원의 고정된 연봉에 의해 정해지기 때문에 Setup 횟수는 전체 생산 비용에 영향을 미치지 않는다. 따라서, 중 Blending Setup Cost와 Size Change Over Cost는 EOQ 계산에서 무시될 수 있다. 마찬가지로, Order Processing Cost 또한 Bob과 Eliot의 고정된 연봉을 기준으로 하므로 EOQ 계산에서 무시될 수 있다.

Label Change Over Cost는 Bob과 Eliot, 그리고 5명의 시간제 근로자의 급여를 기준으로 한다. 본문에 따르면, 라벨 변경을 위해 포장 라인을 폐쇄하는 평균 시간은 30분이다. 이 시간 동안에 Bob과 Eliot 그리고 5명의 시간제 근로자들의 유휴 시간만이 Setup Cost에 영향을 미치므로 이 비용만 EOQ 계산에 고려했다. 따라서 비용은 유휴 시간 30분 동안 발생하는 Bob과 Eliot 그리고 5명의 시간제 근로자 임금의 합과 동일하다.

Blanchard는 bottling line을 77일 동안 운영하기 때문에 생산 손실 없이 setup할 수 있는 시간이 충분하다. 그러므로 Setup Cost에는 라벨을 변경하는 30분 동안 발생하는 Bob과 Eliot 그리고 시간제 근로자 5명의 임금의 합만 들어간다. Bob과 Eliot의 급여는 연봉은 합쳐서 \$23000을 지급한다. 이를 시급 단위로 계산하기 위해 먼저 근무 일수를 계산하면, $365 \times \frac{5}{7} - 15 = 245.71 \approx 246$ 일이 나온다. 이는 주말을 제외한 휴일을 1년에 대략 15일로 계산한 것이다. 그리고, 미국의 근무시간은 주40시간이므로, 하루 8시간이다. 따라서, Bob과 Eliot의 시급의 합은 $\$23000 \div 246 \div 8 = \11.69 이다. Setup Cost는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\text{Setup Cost} &= \{(\text{Eliot과 Bob의 시급}) + 5 \times (\text{시간제 근로자의 시급})\} \times (\text{라벨 변경 시간}) \\ &= \{\$11.69/\text{hour} + 5 \times (\$2.5/\text{hour})\} \times (0.5\text{hour}) = \$12.095\end{aligned}$$

(3) Unit Cost (C)

Unit Cost는 Bottling과 포장 이후의 각 아이템의 비용을 계산했다. 이 비용은 품목의 생산과 판매에 필요한 모든 비용과 회사의 총 고정 비용을 포함한 전체 단가 수치를 기반으로 했다. 그렇기에 Unit Cost에는 판매 전까지의 비용만 포함하고, 판매 시 및 판매 이후에 발생하는 비용은 고려하지 않았다. 판매 전까지는 State Tax를 지불하지 않기 때문에, 생산 중에 발생하는 비용만 포함하는 EOQ 공식에는 포함되지 않는다. 그리고, Federal Distilled Spirits Tax는 지불 기한이 한 달이기 때문에 생산 중에 지불하지 않는다. 따라서, 전체 단가 수치에서 이 두 세금을 무시했다. Fixed Overhead Allocation은 고정비용이기 때문에 Unit Cost에서 제외했다. 이에 대한 비용은 Carrying

Cost에서 이자율로 계산하게 된다. 이들을 모두 제외한 Unit Cost는 다음과 같다.

	Vodka	Gin	Scotch	Whiskey	Rum
Materials-beverage	0.93	1.08	4.46	2.52	2.74
Materials-packaging	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
Direct Labor	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Variable Overhead	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Customs Duty			1.55		
Federal Rectification Tax				0.76	
Total Unit Cost	2.8	2.95	7.88	5.15	4.61

(4) Carrying Cost (K)

본문에서는 Carrying Cost로서 Inventory Carrying Cost 9%와 기타 carrying cost 2.5%를 더하여 11.5%로 사용하였다. 이때, Inventory Carrying Cost를 구성하는 유일한 요소인 자본비용은 이자율 9%를 사용한다고 명시되어있다. 하지만, 우리 팀은 자본비용으로서 Hurdle Rate(기준 수익률)인 20%를 사용하여 EOQ & ROP를 계산하는 것이 합당하다고 보았다.

제시문의 도입부에서 확인할 수 있듯, Blanchard 사는 세전이익 20%를 얻을 수 있는 와인 산업을 확장하고 싶지만, 자본의 부족으로 전문가와 생산 설비를 마련하지 못하고 있다. 즉, 자본 할당(Capital Rationing)이 존재하는 것이다. 특히, 회사가 자금 조달을 확보하기 어려워 자본예산이 할당된 Hard capital Rationing이 존재한다.

그런데, 여러 논문¹에서 확인할 수 있듯, 자본 할당이 존재할 때 Carrying Cost 중 자본비용을 Hurdle Rate로 사용하는 것이 바람직하다. 기업이 자본 할당을 사용하는 경우 Hurdle Rate이 재고 유지 비용에 대한 자본 비용이라는 것이다. 이는 James Mao, Lambert와 LaLonde, Magee, Copacino와 Rosenfield 등 여러 학자의 논문을 참고했다. 이들이 보고한 Hurdle Rate이 10%에서 30% 범위에 와인 산업에 대한 요구수익률 20%이 포함되는 것까지 확인할 수 있다.

이에 따라 우리가 사용한 Carrying Cost는 아래와 같다.

$$20\% + 2.5\% = 22.5\%$$

¹ Cory Lynn Harms, "A practice in and literature in cost carrying inventory of comparison", Iowa State University, 2001 / Douglas Lambert and Bernard LaLonde, "Inventory Carrying Cost", Management Accounting, p.32 / John F. Magee, William C. Copacino, Donald B. Rosenfield, "Modern Logistics Management", John Wiley & Sons, 1985

별개로, 기존대로 Inventory Carrying Cost를 자본 비용으로 바라본다고 하더라도 본문처럼 타인자본비용만을 고려하여 9%로 사용하는 것 대신, 대차대조표를 통해 타인 자본 비용과 자기 자본 비용을 구분하여 가중평균 자본 비용 WACC로 사용하는 것을 고려해본 바 있다.

(5) EOQ & ROP 재계산

위에서 구한 Annual Demand, Setup Cost, Unit Cost, Carrying Cost로 EOQ와 ROP를 구했다. 구하는 식은 다음과 같다.

$$EOQ = \sqrt{\frac{2RS}{CK}}, \quad ROP = \frac{3.5}{52} \times R$$

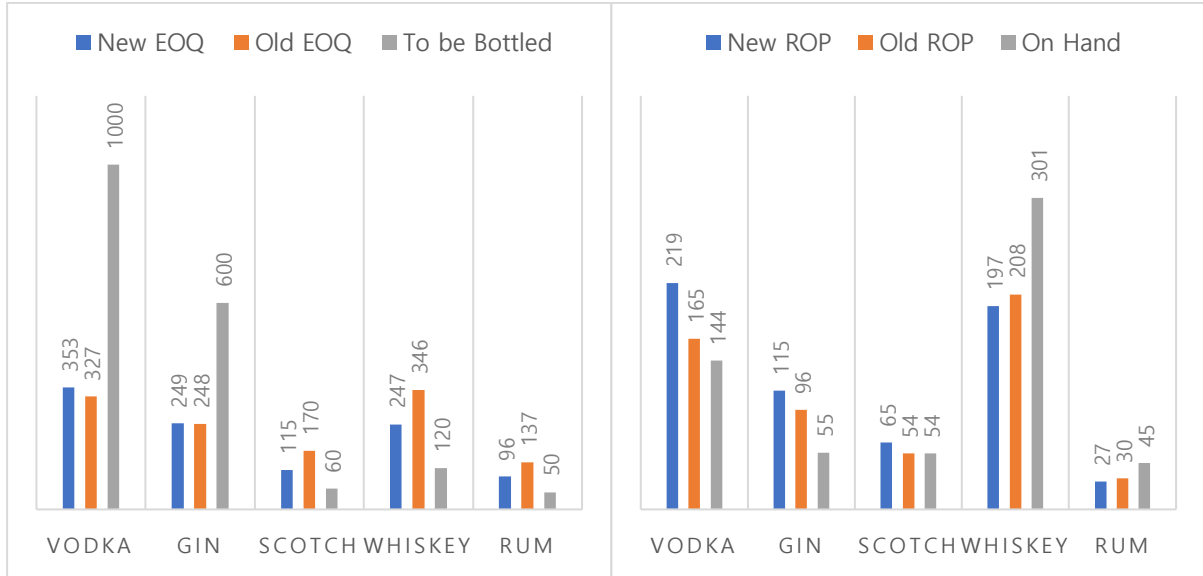
구한 결과는 다음과 같다. 여기서 EOQ와 ROP는 단위가 개수이므로 반올림해 정수로 만들었다.

	Vodka	Gin	Scotch	Whiskey	Rum
Setup Cost (S)	12.095	12.095	12.095	12.095	12.095
Annual Demand (R)	3250	1707	963	2921	396
Carrying Cost (K)	22.50%	22.50%	22.50%	22.50%	22.50%
Unit Cost (C)	2.8	2.95	7.88	5.15	4.61
EOQ	353	249	115	247	96
ROP	219	115	65	197	27

1969년에 만들어진 EOQ와 ROP, 그리고 1972년 6월에 Bottling할 예정인 생산량 다음과 같다.

	Vodka	Gin	Scotch	Whiskey	Rum
Old EOQ	327	248	170	346	137
Old ROP	165	96	54	208	30
To be Bottled	1000	600	60	120	50
On Hand	144	55	54	301	45

새로 구한 EOQ, ROP와 1969년에 구했던 EOQ, ROP, 그리고 1972년 6월에 Bottling할 예정인 생산량을 비교한 그래프는 다음과 같다.



좌측 그래프를 보면 Vodka와 Gin에 대한 새로 구한 EOQ 값은 이전의 EOQ 값보다 소폭 증가한 것을 확인할 수 있다. 이는 최근 증가하는 Vodka와 Gin의 수요를 반영한 것으로 보인다. 하지만 Bob과 Eliot이 생산하려는 양은 증가하는 수요보다도 너무 많이 생산하려고 한다. 이는 재고 비용의 큰 증가로 이어지므로 두 품목의 생산량을 대폭 줄여야 한다. Scotch, Whiskey, Rum의 경우는 새로 구한 EOQ 값이 이전의 EOQ 값보다 줄어든 것을 확인할 수 있다. 이는 확 낮아진 Setup Cost와 두 배 가까이 높게 오른 Carrying Cost가 크게 작용한 이유가 크다. 하지만, 새로 구한 EOQ 값이 줄었음에도 Bob과 Eliot이 생산하려는 양은 이보다 턱없이 부족해 EOQ 기준으로 Shortage Cost가 대폭 발생할 것으로 판단된다. 그렇기에 세 품목에 대해서는 생산량을 대폭 늘려야 한다는 것을 의미한다.

우측 그래프를 보면 새로 구한 ROP 값은 1971년 6월부터 1972년 5월까지의 수요 데이터를 토대로 구해 이전의 ROP 값과 차이가 나는 것을 확인할 수 있다. 새롭게 구한 ROP를 토대로 보면, Vodka, Gin, Scotch는 이미 ROP 값에 비해서 부족한 재고 현황을 보여준다. 이는 바로 이 품목들을 생산하더라도 Lead Time으로 인해서 Shortage Cost가 발생할 것이다. 반면에 Whiskey, Rum의 경우에는 아직 재고가 ROP 값에 다다르지 않았기 때문에 아직 이 두 품목을 생산할 필요가 없다. 지금 이 두 품목을 생산하게 되면, 더 많은 재고 비용을 발생시킬 것이다.

[2] What are the purposes of the formal system in Blanchard situation? Why are Bob and Eliot ignoring the formal system?

체계적인 생산 계획을 위해 Blanchard 사는 1969년까지 EOQ system을 사용했다. 그러나, 아래의 이유로 Bob과 Eliot은 이 시스템을 사용하지 않았으리라 판단된다.

EOQ system은 다음 4가지의 가정하에 계산된다.

1. The demand rate is known and is a constant λ units per unit time.
2. Shortages are not permitted.
3. Order quantity is fixed at Q per cycle
4. The cost structure
 - a. Setup cost at K per positive order placed.
 - b. Proportional order cost at c per unit ordered.
 - c. Holding cost at h per unit held per unit time.

이 가정들은 Blanchard의 상황에 EOQ system을 적용하기에는 여러 한계점이 있다는 것을 보여준다. 먼저, 1번 가정은 Demand가 일정하고 예측가능해야 한다고 하지만, Blanchard의 수요 데이터는 Monthly Sales Data에 나와 있는 16개월 치의 데이터가 전부이고, 이 수요는 일정하지 않음을 보여준다. 그렇기에 예상한 수요보다 더 많은 수요가 발생할 수 있어 재고 부족으로 이어질 수 있다. 그러므로, 2번 가정에서도 한계를 보인다. 3번 가정에서 EOQ system의 Q(Order Quantity)는 매 Cycle에 대해 고정되어야 하지만, 수요는 Monthly Sales Data에 나와 있듯이 매달 변하기 때문에 Q는 매 Cycle마다 변동을 주어야 한다. 마지막으로 4번 가정에서의 비용은 현실적으로는 주문하는 품목의 수, 경기 변동 등으로 인해서 변할 수 있기 때문에 이 비용을 고정된 값으로 두고 EOQ와 ROP 값을 구하기에는 한계가 존재한다.

EOQ system에는 이러한 현실적인 한계점이 있는 동시에 1969년도에 만들어진 EOQ system에는 1972년도까지의 수요 변화가 있음에도 이 수요 데이터를 반영하지 않았다. 그렇기에 Bob과 Eliot이 보기에는 변화된 수요에 이 EOQ와 ROP 값을 계속해서 사용하기는 부적합하다고 판단했을 것이다. 더군다나 EOQ system은 급증하거나 급감하는 수요를 즉각적으로 반영하기에는 어렵기 때문에 Bob과 Eliot은 이런 한계가 있는 EOQ system을 사용하는 대신 변화하는 수요를 즉각적으로 생산에 반영하는 자신들만의 방법을 사용한 것으로 보인다.

[3] What are the problems of the current system used by Bob and Eliot for scheduling bottling runs at Blanchard?

Bob과 Eliot이 현재 사용하는 생산계획에서 문제점을 논하기 이전에 현재 사용하는 생산계획을 간략히 설명하자면, 이들이 사용하는 시스템은 적은 수의 데이터로 예측한 수요의 3.5주 분량 (ROP LEVEL)보다 재고수준이 낮으면 그 제품을 생산하는 방식을 채택하고 있다. 또한 Size change에 대한 비용을 낮추기 위해서 일정 기간동안 단일 크기에 대한 제품만을 생산하는 시스템이다.

수요 예측이 적은 수의 데이터와, 체계적 수식이 아닌 이들의 직관을 기반으로 이루어지고 있는 것이다. Bob의 *"If our predicted sales volumes for gin and vodka are correct, we can omit production of these products during the July bottling run of quarts and save the cost of blending and label changeover for these two items. However, if demand continues to spiral and exceeds our prediction, we can add these items to the July schedule and avoid a stock-out."* 라는 말에서 수요 예측이 수학적인 모델을 이용하여 정밀하게 이루어지지 않는다는 것을 알 수 있다. 이러한 불안정한 데이터 예측을 기반으로 운영되는 시스템은 2가지 문제와, 부가적인 문제가 있다고 여겨진다.

(1) 높은 Holding cost

적은 수의 데이터와 그로 인해 그들의 개인적인 직관에 의해서 예측된 수요는 실제 수요에 적절하게 대응하지 못하여, 기본적으로 높은 Holding cost를 야기할 수 있다. 또한, Size change cost를 최소화하기 위해서 ROP LEVEL보다 높은 상태의 품목에 대해서도 생산을 하는 시스템 역시 높은 Holding cost로 이어진다.

(2) 높은 Penalty cost

높은 Holding cost는 재고보다 수요가 적을 때 일어날 것이다. 이는 (1)의 문제점에서 언급하였다. 그러나, 가령 재고보다 수요가 급격히 많아졌을 때는 어떤 문제가 생기는가? 이 경우에는 Holding cost보다 Penalty cost가 증가하게 된다. 이는 Bob과 Eliot의 생산계획 시스템에서 드러나는 문제이기도 한데, 이들은 Penalty cost에 대한 비용은 염두에 두지 않았다. Penalty cost는 단순히 그 제품을 팔지 못했을 때의 비용뿐만 아니라 그에 더해, 장기적으로 소비자의 회사에 대한 부정적 이미지를 생각하면 회사 입장에서 큰 비용으로 작용한다. 즉, 정확하지 않은 수요 예측으로 폭발적인 수요를 감당하지 못하게 된다면, Penalty cost 관점에서도 문제를 야기할 수 있다.

즉, Bob과 Eliot의 시스템에서 (1)과 (2)의 문제점을 해결하기 위해서는 직관에 의한 수요 예측이 아닌 정밀한 분석을 통해 체계적인 수요 예측이 필요하다.

(3) Label changeover 비용

추가적으로 비단 Bob과 Eliot의 시스템에서만 드러나는 문제점은 아니지만, Label changeover이 이루어지는 시간은 시간노동자 다섯 명의 유희시간에 해당한다. 회사 입장에선 사소한 보이나, 장기적으로 보면 큰 비용에 해당한다. 따라서 이 시간 동안 시간노동자에게 교육을 통해 다른 일을 시킬 수 있도록 한다.

[4] Which system do you prefer? What improvements can be made?

(1) 더 나은 시스템

물론 문제 상황의 현재 EOQ/ROP 모델과 Bob과 Eliot의 시스템 모두 결함이 있다. 그러나, 현재 상황에서는 EOQ/ROP 모델이 더 낫다고 판단하였다. 판단의 근거는 다음과 같다. EOQ/ROP 모델 역시 단점이 있으나, 이는 비교적 체계적인 수식을 통해 구해진 값이다. 즉, 위험도와 불확실성이 비교적 낮아 평균적인 재고비용을 절감할 수 있다는 점이 장점이다. 특히, Blanchard사의 대차대조표를 참고하면, 자산 중 재고자산이 매우 높은 비중을 차지하기에 평균적인 재고비용의 절감이 절실하다. 반면 Bob과 Eliot의 시스템은 너무 직관성이 강하며 직관이 들어맞았을 때는 EOQ/ROP 모델보다 좋은 결과를 기대할 수 있으나, 평균적인 재고비용을 절감하기엔 좋은 방법은 아니기 때문에, EOQ/ROP 모델이 더 낫다고 판단하였다.

(2) 개선방안

앞서 언급했지만, 현재 Blanchard사의 EOQ/ROP 모델은 Bob과 Eliot의 시스템에 비해 낫다는 것이지 좋은 모델이라고 얘기할 순 없다. EOQ/ROP 모델의 단점을 보완하는 개선방안은 다음과 같다.

(a) 상황을 고려한 수요 예측과 지속적인 업데이트

지속적인 수요 예측이 필요하다. 물론, 수요 예측이 기존 데이터가 있다고 해서 정확하게 예측할 수 있는 것은 아니다. 또한 수요는 사회적인 상황과 경제적인 상황에 따라서 급격하게 변할 수 있기 때문에, 정확한 예측이 어렵다. 하지만, 많은 과거의 데이터와 사회 경제적인 전체적인 상황을 종합하여 수요를 예측한다면 더 좋은 수준의 EOQ/ROP 모델이 될 것이다.

(b) Trend와 Seasonality

앞서 (a)에서 말한 맥락과 비슷하지만, 수요에 대한 Trend와 과거 데이터로부터 Seasonality를 고려한다면 비교적 정확한 수요 예측으로 이어질 수 있고, 이는 더 좋은 EOQ/ROP 모델을 낳을 것이다.

(c) Holding cost, Penalty cost, Safety stock 그리고 Lead time

Blanchard사는 Setup cost의 최소화에 집중하였으나 회사의 궁극적인 목적은 전체 비용함수의 최소화이다. 즉, Setup cost의 최소화 외에도 Holding cost, Penalty cost의 최소화 역시 중요함을 의미한다. 수요를 정확하게 예측하고, Lead time이 존재하지 않는 이상적인 상황에서의 EOQ/ROP 모델보다 현실에 맞게 Lead time을 가정해야 한다. 이에 맞춰 전체 비용함수의 최소화를 위하여 최적의 Safety stock에 대한 의사결정 역시 필요하다.

(d) 생산량에 따른 EOQ 예측

(c)에서 모델을 현실에 맞게 변화시키자는 것에 초점을 맞추어, 생산량에 따른 Unit cost의 변화에도 집중할 필요가 있다. 통상적으로, 회사에서는 생산량이 증가함에 따라 Unit cost가 감소하는 규모의 경제와 두 개 이상의 재화를 생산할 때 비용이 절감되는 범위의 경제 효과를 얻을 수 있다. Blanchard사 역시, 단순한 Unit cost보다는 생산량의 증가로 인한 Unit cost의 절감 효과 역시 고려하여 EOQ/ROP 모델을 개선할 수 있다.

(e) Lot size reorder point system의 도입

현재 Blanchard사는 정확한 수요를 예측할 수 없고, 수요가 변동성이 있기에 역시 현실에 맞게 EOQ/ROP 모델을 변화시키자는 것에 초점을 맞춘다. 이는 개선방안 (c)의 연장선이다. 총 비용함수 $G(Q, R)$ 에 대하여, $G(Q, R) = h\left(\frac{Q}{2} + R - \lambda\tau\right) + \frac{K\lambda}{Q} + p\lambda\frac{n(R)}{Q}$ 을 최소화한다.

(h = Holding cost, K = Setup cost, p = Penalty cost, λ = Unit time에서의 예상 수요, $n(R)$ = EOQ의 한 주기에서 예상되는 shortage의 수, R = Reorder point, Q = 주문하는 양)

이 과정에서 최적의 Q 와 R , 즉 Q^* 와 R^* 을 찾기 위하여 다음과 같은 Iteration을 진행한다.

Iteration 0,

$$Q_0 = EOQ = \sqrt{2K\lambda/h} \text{이며, } F(R_0) = 1 - \frac{hQ_0}{p\lambda} = 1 - \frac{h}{p\lambda} \sqrt{\frac{2K\lambda}{h}} = 1 - \frac{1}{p} \sqrt{\frac{2hK}{\lambda}}$$

Iteration t,

$$Q_t = \sqrt{\frac{2\lambda[K + pn(R_{t-1})]}{h}} \text{ and } F(R_t) = 1 - \frac{hQ_t}{p\lambda}$$

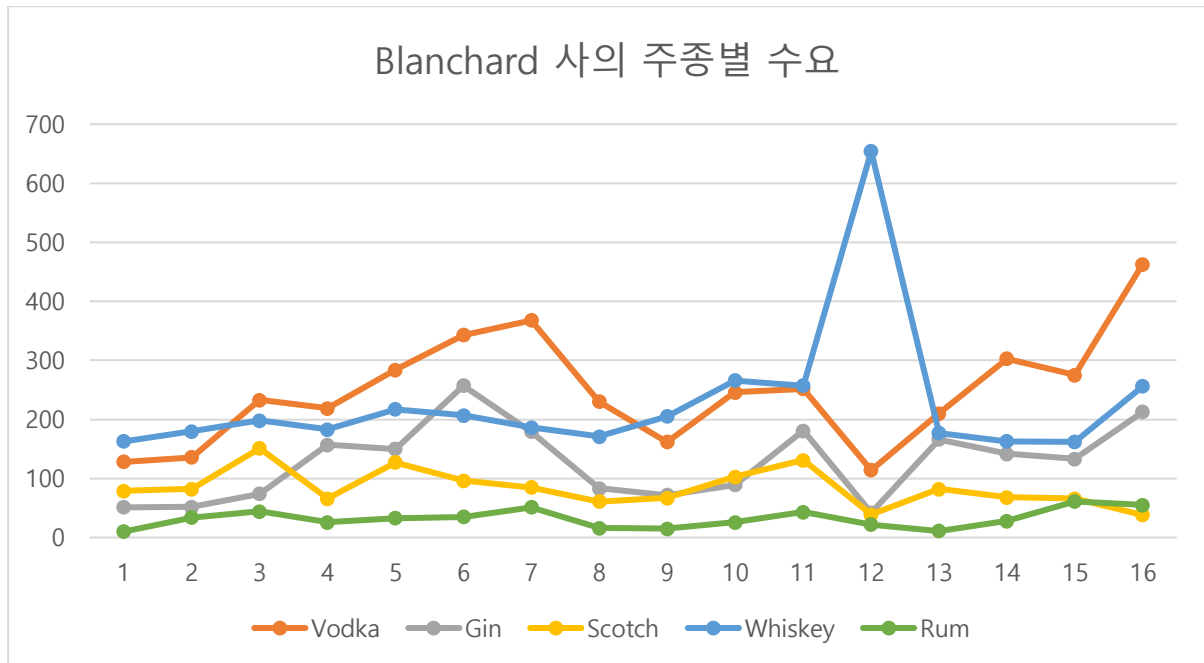
만약, $|Q_t - Q_{t-1}| < 1$ and $|R_t - R_{t-1}| < 1$ 을 만족시킨다면, Iteration을 중단한다.

그리고 그 때의 $Q_t = Q^*$ 이며, $R_t = R^*$ 이다.

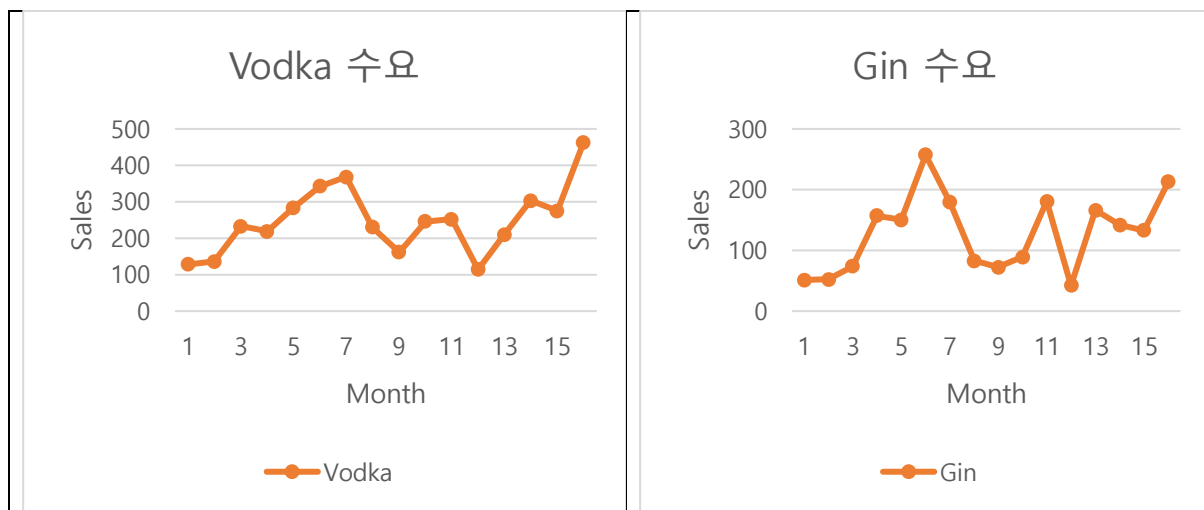
[5] What are the impacts of seasonality at Blanchard?

(1) 시도표를 통한 계절성 판단

계절성이 존재하는지 판단하기 위해, 우선 시계열 데이터의 시도표를 그려보았다.



주종별로 나뉜 시도표는 아래와 같다.





관측 데이터가 16개로 적은 상황이며, 이에 시도표를 통해 계절성을 확실하게 판별하기가 어렵다고 판단했다. 따라서 보다 정량적인 계절성 검정을 도입하여, 계절성 유무를 판단했다.

(2) Seasonal Factor을 이용한 계절성 강도 측정

주기 4				
Vodka	Gin	Scotch	Whiskey	Rum
0.790721	0.860363	1.058911	0.836214	0.541176
1.036813	1.058305	1.041014	0.895473	0.964706
1.13767	1.11122	1.291573	0.881207	1.560784
1.034796	0.970113	0.608501	1.387106	0.933333

주기 8				
Vodka	Gin	Scotch	Whiskey	Rum
0.584972	0.482117	0.870992	0.807682	0.392157
0.77055	0.55267	1.103654	0.978875	0.941176
0.978316	0.99951	1.682327	0.998628	1.364706
0.67171	0.78001	0.626398	1.837037	0.752941
0.99647	1.238609	1.246831	0.864746	0.690196
1.303076	1.563939	0.978374	0.812071	0.988235
1.297025	1.22293	0.90082	0.763786	1.756863
1.397882	1.160216	0.590604	0.937174	1.113725

주기를 4달과 8달로 정한 후 Seasonal Factor를 구하면 위 두 표와 같다. 참고로, 각 열의 합이 4/8이 되는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 계절성 유무의 대략적인 파악이 가능하지만, 정량적인 측정은 여전히 어렵다는 한계가 있다.

(3) 분해법을 이용한 계절성 강도 측정

이에, 추가로 고전적인 방법인 분해법을 이용한 계절성 검정을 시행했다. 시계열 분해는 시계열에서 추세와 계절성의 강도를 측정하는 데 사용할 수 있다.² 이 참고 문헌에서 사용한 수식을 정리해보면, 다음과 같다.

$$y_t = T_t + S_t + R_t$$

여기에서 T_t 는 평화된 추세 성분이고, S_t 는 계절성 성분, R_t 는 나머지(불규칙) 성분이다.

계절성이 강하게 나타나는 데이터에서는, 추세로 조정된 데이터가 나머지 성분보다 훨씬 더 큰 변동성을 나타내야 한다. 따라서 $\frac{Var(R_t)}{Var(S_t + R_t)}$ 가 상대적으로 작아야 한다. 하지만 계절성이 거의 없거나 아예 없는 데이터의 경우에는, 두 분산값이 근사적으로 같아야 한다. 따라서 계절성의 강도를 다음과 같이 정의할 수 있다:

$$F_s = \max(0, 1 - \frac{Var(R_t)}{Var(S_t + R_t)})$$

시계열의 계절성 강도 F_s 가 0에 가까우면 거의 계절성이 없다는 것을 의미하고, $Var(R_t)$ 이

² Wang, X., Smith, K. & Hyndman, R. Characteristic-Based Clustering for Time Series Data. *Data Min Knowl Disc* 13, 335–364 (2006). <https://doi.org/10.1007/s10618-005-0039-x>

$Var(S_t + R_t)$ 에 비해 훨씬 작을 것이기 때문에 시계열에서 계절성이 강하게 나타나면 F_s 가 1에 가깝게 나타날 것이다.

R 프로그램을 이용하여 각 주종별 F_s 를 계산해보았다. 코드는 appendix-1을 참조하길 바란다.

주기	Vodka	Gin	Scotch	Whiskey	Rum
2	0.03	0.03	0.51	0.19	0.33
3	0.12	0.07	0.04	0.24	0 (-0.02)
4	0.77	0.28	0.70	0.26	0.87
5	0.31	0.55	0.54	0.44	0.40
6	0.31	0.35	0.62	0.55	0.29
7	0.63	0.80	0.26	0.55	0.62

Gin의 경우 7개월을 주기로 했을 때 F_s 가 높은 값을 가지는데, 주기가 7개월인 것은 상식적이지 않으며, 이는 적은 데이터 수로 인한 일반화하기 어려운 관측이라고 해석했다. 분기(4개월), 혹은 6개월을 주기로 계절성을 판단하는 것이 합리적이기에 Gin을 제외한 주종들의 F_s 가 높은 4개월을 주기로 선정했다.

즉, 주기 4에서 상대적으로 높은 값을 가지는 vodka, scotch, rum은 계절성이 있는 것으로 보이고, gin과 whiskey의 경우 계절성이 없는 것으로 보인다.

하지만, 분해법은 매우 고전적인 방법이며, 위 주장은 계절성의 강도를 나타내는 F_s 의 기준치를 주관적으로 정한 결과이다. Whiskey의 경우 6개월을 주기로 했을 때 F_s 가 0.55로 명확하게 나누기 어렵다. 비록 시도표를 통해 Whiskey의 계절성이 없다고 판단되긴 하지만, 여전히 다른 주종들의 판단 기준점이 주관적이라는 한계가 있다.

(4) D8 F검정을 통한 계절성 강도 검정

이에 X-12-ARIMA에서 시계열의 계절성을 판단하는 D8 F검정을 적용해 보다 정확히 계절성을 판단해보았다. 이를 위해 참고문헌³의 해당 부분을 인용하면, 아래와 같다.

³ Lee, Geung-Hee. "평활 계절성 검정 Smooth Tests for Seasonality." Korean Journal of Applied Statistics, vol. 24, no. 1, The Korean Statistical Society, 28 Feb. 2011, pp. 45–59. Crossref, doi:10.5351/kjas.2011.24.1.045.

미국 센서스국의 X-12-ARIMA에서는 시계열의 안정적 계절성을 F 검정과 M7지표를 통해 식별하고 있다. 또한 차분 원계열, 차분 계절조정계열, 불규칙변동계열에 대해 스펙트럼을 구해서 계절조정이 적절히 진행되고 있는지 점검하고 있다 (Laytras 등, 2007; Ladiray와 Quenneville, 2001). 이 절에서 이러한 X-12-ARIMA의 계절성 검정을 정리하겠다.

X-12-ARIMA에서 안정적 계절성을 검정하는 D8 F 검정에 대해 살펴보자. 시계열이 계절변동(S)과 불규칙변동(I)으로만 (3.1)과 같이 구성되어 있다고 하자.

$$x_{ij} = (S + I)_{ij} = a_i + b_j + \epsilon_{ij} \quad (3.1)$$

여기서 $a_i, i = 1, \dots, N$ 는 i 년도의 효과이고 $b_j, j = 1, \dots, l$ 는 j 월 또는 분기의 효과이다. ϵ_{ij} 는 불규칙변동요인으로 평균 0 분산 σ^2 인 정규분포를 따른다고 가정한다. $n = N \cdot l$ 일 때 x_{ij} 의 변동은 (3.2)와 같이 분해된다.

$$\sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^N (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2 = N \sum_{j=1}^l (\bar{x}_{.j} - \bar{x}_{..})^2 + \sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^N (x_{ij} - \bar{x}_{.j})^2 \quad (3.2)$$

여기서 $\bar{x}_{.j} = 1/N \sum_{i=1}^N x_{ij}$ 은 월(분기) 시계열의 평균이고, $\bar{x}_{..} = 1/n \sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^N x_{ij}$ 는 시계열 전체의

평균이다. (3.2)를 $S^2 = S_B^2 + S_R^2$ 로 다시 표현할 수 있다. $a_i = a$ 라고 가정하면 계절성이 없다는 가설은 $H_0 : b_1 = b_2 = \dots = b_l$ 로 정리할 수 있다. 이를 검정하는 통계량은 (3.3)과 같다.

$$F_S = \frac{S_B^2/(l-1)}{S_R^2/(n-l)}, \quad (3.3)$$

F_S 는 자유도 $l-1$ 과 $n-l$ 인 F 분포를 따른다(McDonald-Johnson 등 (2006)에 따르면 F 통계량은 통상적인 F 통계량의 기각역을 쓰기보다는 기각역값으로 7을 이용하고 만약 F 통계량값이 7보다 크면 안정적 계절성이 있다고 판단한다). 이 F 검정은 제 2절에서 살펴본 시계열을 월별로 정리한 그래프와 관련된 검정이라고 할 수 있다.

위의 과정을 따르기 위해, 우선 분해법을 이용하여 각 주종별로 추세가 조정(제거)된 데이터를 만들었다. 이는 위 분해법을 통해 계절 성분을 제거하여 구했다. 상세 과정은 APPENDIX-2-a 를 참조하길 바란다. 그 후, 계산한 S_B^2 와 S_R^2 값, 그리고 F_S 값은 아래와 같다. 상세 과정은 APPENDIX-2-b 를 참조하길 바란다.

	Vodka	Gin	Scotch	Whiskey	Rum
S_B^2	31845.38	9401.35	9141.99	48450.01	1752.50
S_R^2	7245.00	18586.81	3017.15	101969.1	201.40
F_S	16.12	1.85	11.11	1.74	31.91

참고 문헌에 따라, 통계량 F_S 가 7보다 큰 vodka, scotch, rum은 계절성이 영향을 미치고 있으며, 7보다 작은 gin과 whiskey의 경우 계절성이 영향을 미치지 않는다. 이는 분해법을 이용한 첫 방식과 동일한 결과임을 확인할 수 있다.

[6] What should Hank Hatch recommend to his boss, Toby Tyler?

(1) 제안 사항

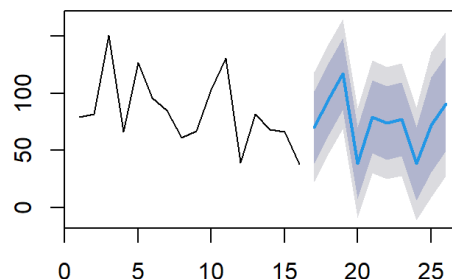
(a) EOQ 모델의 개선과 꾸준한 데이터 업데이트

현재 Bob과 Eliot의 수요예측 방식에는 위에서 다룬 문제점들이 존재한다. 이를 줄이기 위해서는 보다 체계적이고 현실적인 방식의 시스템이 필요하다. 즉, 수요의 변화, Lead Time, Penalty Cost 등을 고려한 EOQ/ROP 시스템을 도입해야 한다. [4]-(2)-(e)의 모델이 하나의 예시가 될 수 있겠다. 추가로 EOQ/ROP 모델 계산 시에 필요한 데이터들의 지속적인 업데이트가 필요하다.

(b) 유연한 수요예측

수요의 Trend, seasonality, 변동성은 수요예측에 큰 도움이 된다. 이를 파악해 수요가 정상 시계열을 따르는 상품에 대해서는 Moving Average 등을 이용한 수요예측을 하고, 수요의 추세와 변동성이 높은 비정상 시계열을 따르는 상품에 대해서는 seasonality를 활용한 Winter's Method 등을 이용할 수 있겠다. 또한, 계절성과 추세를 가지는 비정상 시계열을 (계절)차분을 통해 정상 시계열로 바꾼 후 분석하는 SARIMA와 같은 기법을 통해서도 더욱 합리적인 수요 예측을 할 수 있겠다. 예시로, R을 통해 구한 scotch에 대한 예측 결과이다.

Forecasts from ARIMA(0,0,0)(1,1,0)[4]



본 보고서에서는 단 16개월의 데이터만을 이용했지만, 이전의 수요 데이터들을 이용함과 동시에 꾸준히 수요를 기록하고 업데이트하여 더 길고 최신 시계열 데이터를 이용해야 하겠다. 더불어, 회사 내 홍보/마케팅팀으로부터 데이터를 받아와 수요와 회사 내부 데이터의 관계를 데이터 분석을 통해 파악한다면, 수요 예측에 활용할 수 있겠다.

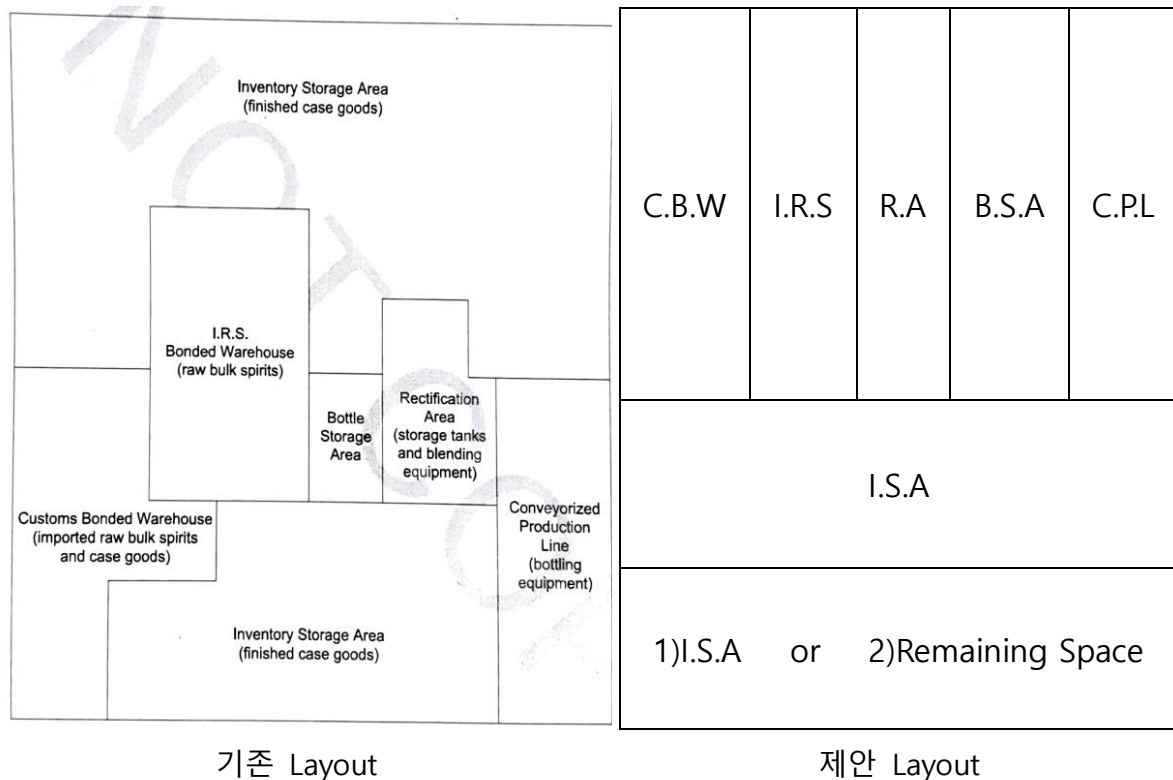
(c) 시스템 효율화

위에서 언급했듯, Label 기계를 재설정하는 유희시간 동안의 노동자들은 일하지 않고 받는 급여에 대한 불필요한 비용인 Label Changeover cost가 발생한다. 그런데, 라벨을 교체하는 장비는 향후에

와인 산업의 비중을 크게 늘리더라도 계속해서 사용할 수 있다. 나아가 라벨 교체 프로세스가 병목 현상의 원인이라고 본문에 나와 있으므로, 손익을 정확히 계산하여 라벨 교체 장비를 교체하는 것도 고려해볼 만하다. 이는 라벨 교체 공정인 30분 자체의 감소와 더불어, 전체 공정의 병목 현상 문제를 해결함으로써 전체 공정 시간의 단축으로 이어질 것이다. 다른 방안으로는, 노동자들에게 해당 시간 동안 교육을 진행하는 식으로 해당 손실을 최소화할 수 있겠다.

(d) Warehouse layout의 변화

현재의 Warehouse layout 구성에 문제가 있다. 이는 공정 순서(Customs Bonded Warehouse→ I.R.S Bonded Warehouse → Rectification Area → Bottle Storage Area → Conveyorized Production Line → Inventory Storage Area)를 고려하지 못한 비효율적인 구성이다. 공정 순서를 고려하여 아래와 같이 Warehouse의 Layout을 수정한다면, 보다 효율적인 공정이 이루어질 것으로 기대된다.



(e) 여분의 창고자리 활용

보유 재고에 비해 Inventory Storage Area가 많은 부분을 차지하고 있다. 본문에 따르면 실제로 이 공간의 반도 사용한 적이 없다고 한다. 넓은 Inventory Storage Area를 해결할 방법으로 몇 가지를 제안하고자 한다. 첫 번째는 생산라인을 더 늘리는 것이다. 생산 라인이 늘어난다면 기존보다 더 효율적이고 이론에 부합하는 생산 계획을 수립할 수 있다. 더불어 Label Changeover Cost 역시 줄어들게 된다. 두 번째로 Inventory Storage Area를 줄여 남는 공간을 다른 방식으로 활용하는 것이

다. 예를 들면 추가적으로 간단한 사업을 진행할 수 있다.

(f) 판매 종류, 병 크기의 종류 축소

Blanchard사는 현재 158종류의 controlled stock을 취급하고 있다. 판매 종류가 많으면 수요예측에 소요되는 시간도 오래 걸리고 Labeling 수정 과정이 빈번히 일어나게 된다. 수요가 높은 제품들로 판매 종류를 줄이는 것도 고려해볼 사항이다.

(g) 더 나은 비용 구조

판매가를 높이는 것도 제안사항이 될 수 있다. 수요곡선에 따라 판매가를 높이면 수요가 감소하는 것이 일반적이다. 이 정도를 계산하여 만약 판매가를 높여도 수익이 감소하지 않는 범위가 있다면, 보다 적은 생산과 재고를 기대해볼 수 있다. 이를 통해 베블런 효과를 이용한 브랜드 고급화와 수익성 증가를 꾀할 수도 있다.

(h) 수익이 좋은 소매점 확대

본문에 따르면 회사 연간 수익 400만 달러 중 300만 달러가 7개의 소매점의 수익이었다. 따라서 수익이 좋은 소매점을 더 늘리는 것도 좋은 방법이다.

(2) 제안 목표

세계 와인 소비량은 1976~1980에 최대였던 이후 조금씩 감소하고 있지만, 여전히 미국은 세계 최고의 와인 생산국이자 소비국이다. 특히, 1990년대부터 2010년까지 미국 내 와인 소비는 조금씩 증가하고 있다.⁴ Blanchard사가 당시의 인기와 전망이 모두 긍정적인 시장을 잘 파악했다고 볼 수 있는 것이다.

위와 같은 제안들로 현재 회사의 재정 상태와 수익 구조를 효율적으로 변경하는 것이 일차적인 목표이며, 바람직한 의사결정인 이른 시일 내에 와인 산업에 적극적으로 참여하기 위한 투자를 진행하는 것이 최종적인 제안 목표이다.

⁴ 박한울.(2013).세계 와인 산업 동향.한국농촌경제연구원 기타연구보고서,(149),75-90.

Appendix

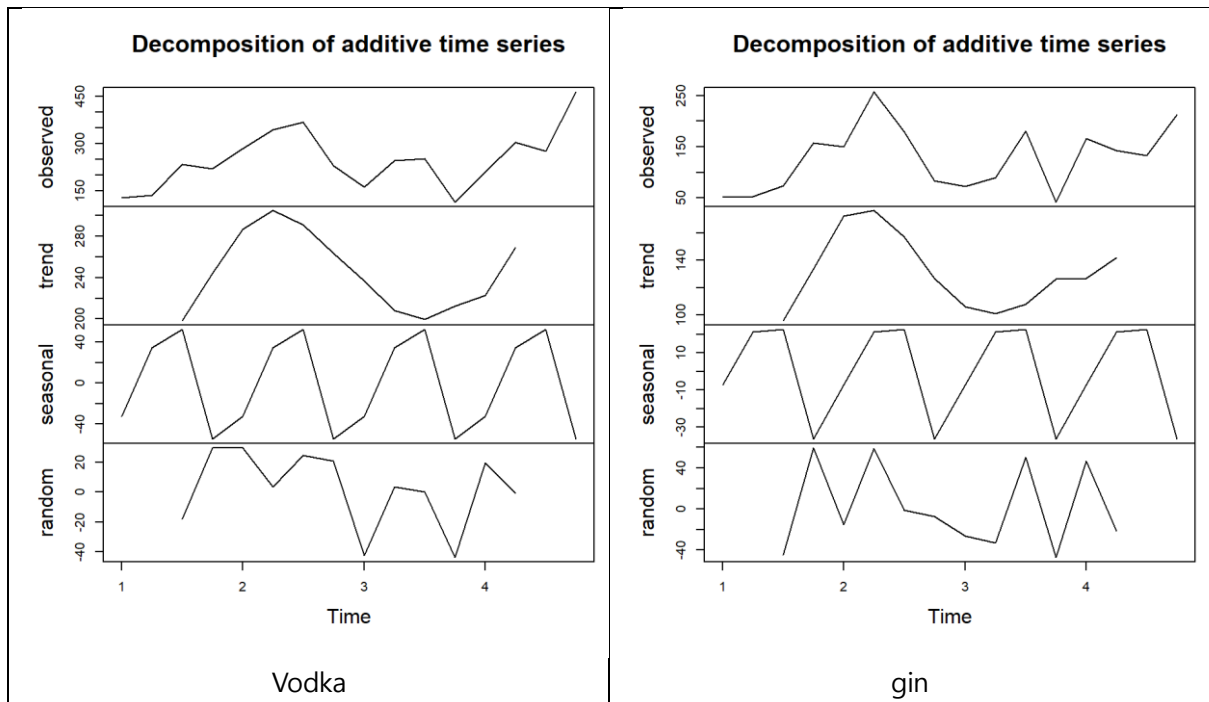
(1) 분해법을 이용한 F_s 계산 R 코드 및 결과

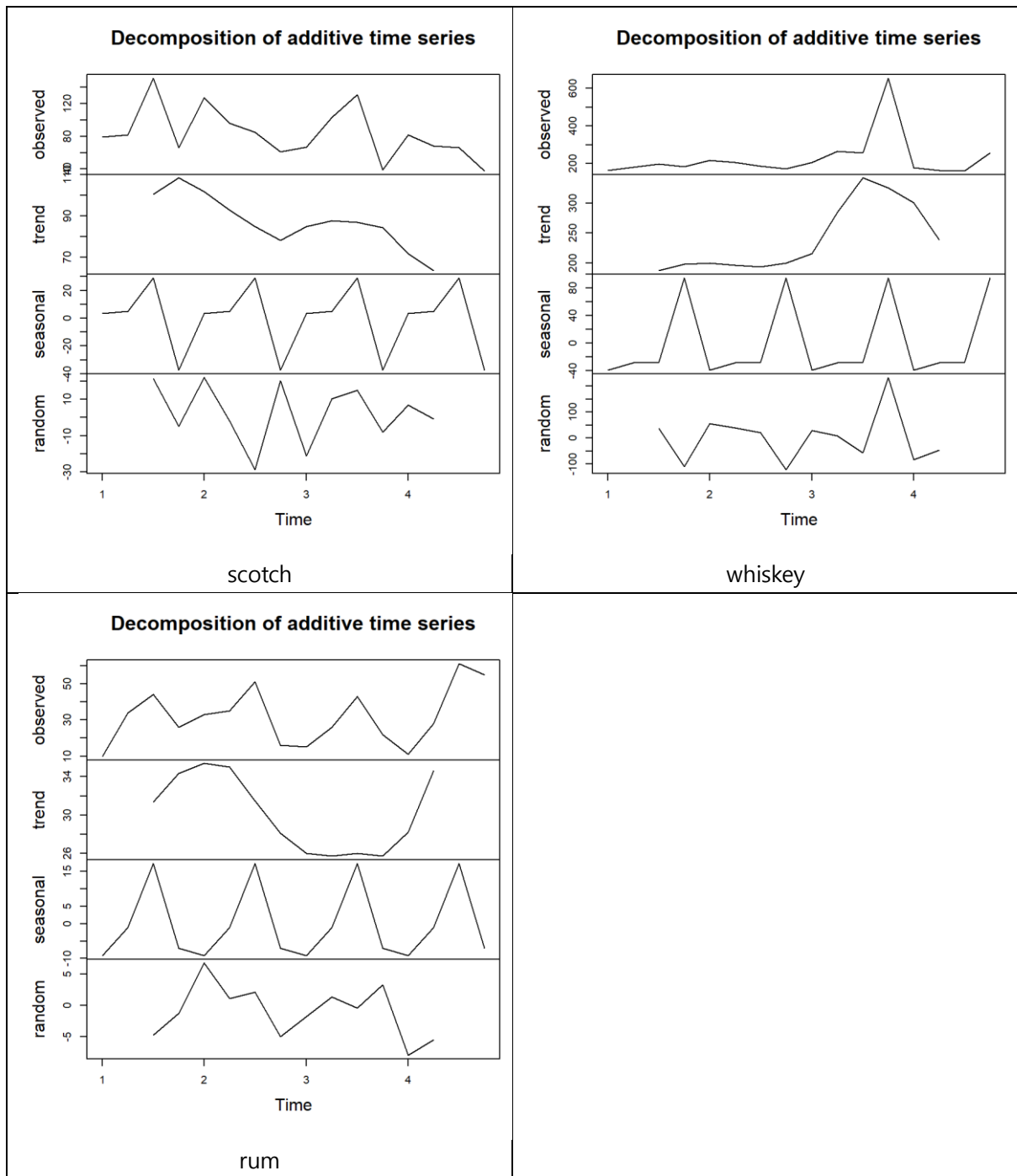
```
df <- read.csv("C:/Users/sjkan/Desktop/rum.csv", header = TRUE) #vodka gin scotch whiskey rum
df
for (i in 2:8){
  freq = i
  ts <- ts(df, frequency = freq)
  ts
  plot(ts)

  ts_decompose <- decompose(ts, "additive") # ("additive" or "multiplicative")
  ts_decompose
  plot(ts_decompose)

  ts_decompose$random
  ts_decompose$seasonal

  #분자 = var(ts_decompose$random[3:14])
  #분모 = var(ts_decompose$random[3:14]+ts_decompose$seasonal[3:14])
  start = 1+(freq/2)
  finish = 16-(freq/2)
  print(1-var(ts_decompose$random[start:finish])/var(ts_decompose$random[start:finish]+ts_decompose$seasonal[start:finish]))
}
```





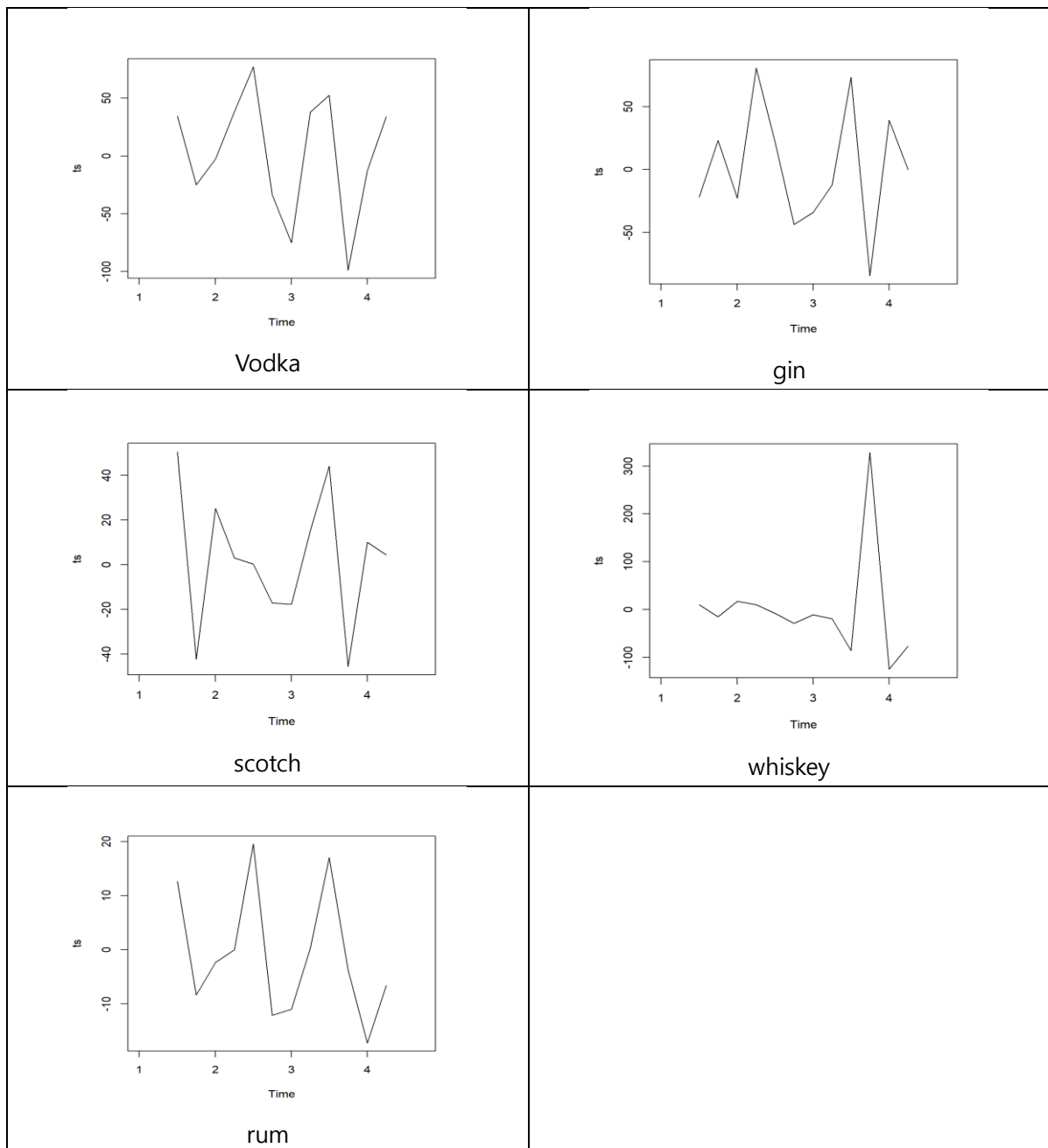
(2) 주종별 D8 F검정을 위한 통계량 F_s 계산 과정

(a) 추세가 조정된 데이터 계산 R 코드 및 시도표

```
df <- read.csv("C:/Users/sjkan/Desktop/vodka.csv", header = TRUE) #vodka gin scotch whiskey rum
freq = 4
ts <- ts(df, frequency = freq)

ts_decompose <- decompose(ts, "additive") # ("additive" or "multiplicative")
ts_decompose

ts - ts_decompose$trend
plot(ts - ts_decompose$trend)
```



(b) 엑셀을 이용한 F_s 계산 과정

vodka

X-12-ARIMA의 계절성 검정 (D8 F검정)																		
Vodka																		
		1년	2년	3년	4년	xj	x..	xj - x..	의 제곱	xij-xj				의 제곱				
1분기		128	284	162	210	166		-81.875	6703.516	-38	118	-4	44	1444	13924	16	1936	
2분기		136	343	246	303	142		-105.875	11209.52	-6	201	104	161	36	40401	10816	25921	
3분기		233	368	252	275	133		-114.875	13196.27	100	235	119	142	10000	55225	14161	20164	
4분기		219	230	114	463	213	247.875	-34.875	1216.266	6	17	-99	250	36	289	9801	62500	
								SB^2=	129302.3								SR^2=	266670
															F=	2.424387		
추세제거 Vodka																		
		1년	2년	3년	4년	xj	x..	xj - x..	의 제곱	xij-xj				의 제곱				
1분기			-2.625	-75	-12.625	-30.0833		-32.3021	1043.425		27.45833	-44.9167	17.45833		753.9601	2017.507	304.7934	
2분기			38.125	38	33.875	36.66667		34.44792	1186.659		1.458333	1.333333	-2.79167		2.126736	1.777778	7.793403	
3분기		34.5	77	52.5		54.66667		52.44792	2750.784	-20.1667	22.33333	-2.16667		406.6944	498.7778	4.694444		
4분기		-24.875	-33.625	-98.625		-52.375	2.21875	-54.5938	2980.478	27.5	18.75	-46.25		756.25	351.5625	2139.063		
								SB^2=	31845.38								SR^2=	7245
															F=	16.11682		

gin

Gin																	
	1년	2년	3년	4년	xj	x..	xj - x..	의 제곱	xij-xj					의 제곱			
1분기	51	150	72	166	109.75		-17.8125	317.2852	-58.75	40.25	-37.75	56.25	3451.563	1620.063	1425.063	3164.063	
2분기	52	257	89	142	135		7.4375	55.31641	-83	122	-46	7	6889	14884	2116	49	
3분기	74	179	181	133	141.75		14.1875	201.2852	-67.75	37.25	39.25	-8.75	4590.063	1387.563	1540.563	76.5625	
4분기	157	83	42	213	123.75	127.5625	-3.8125	14.53516	33.25	-40.75	-81.75	89.25	1105.563	1660.563	6683.063	7965.563	
							SB^2=	2353.688							SR^2=	58608.25	
															F=	0.200798	
추세제거 Gin																	
	1년	2년	3년	4년	xj	x..	xj - x..	의 제곱	xij-xj					의 제곱			
1분기		-22.625	-34	39.25	-5.79167		-7.375	54.39063		-16.8333	-28.2083	45.04167		283.3611	795.7101	2028.752	
2분기		80.5	-12.125	-0.125	22.75		21.16667	448.0278		57.75	-34.875	-22.875		3335.063	1216.266	523.2656	
3분기	-21.875	21.5	73.25		24.29167		22.70833	515.6684	-46.1667	-2.79167	48.95833		2131.361	7.793403	2396.918		
4분기	23.125	-43.75	-84.125		-34.9167	1.583333	-36.5	1332.25	58.04167	-8.83333	-49.2083		3368.835	78.02778	2421.46		
							SB^2=	9401.347							SR^2=	18586.81	
															F=	1.854627	
추세제거 Gin																	
	1년	2년	xj	x..	xj - x..	의 제곱	xij-xj		의 제곱								
1분기	-21.875	-34	-27.9375		-29.5208	871.4796	6.0625	-6.0625	36.75391	36.75391							
2분기	23.125	-12.125	5.5		3.916667	15.34028	17.625	-17.625	310.6406	310.6406							
3분기	-22.625	73.25	25.3125		23.72917	563.0734	-47.9375	47.9375	2298.004	2298.004							
4분기	80.5	-84.125	-1.8125		-3.39583	11.53168	82.3125	-82.3125	6775.348	6775.348							
5분기	21.5	39.25	30.375		28.79167	828.9601	-8.875	8.875	78.76563	78.76563							
6분기	-43.75	-0.125	-21.9375	1.583333	-23.5208	553.2296	-21.8125	21.8125	475.7852	475.7852							
						SB^2=	5687.229			SR^2=	19950.59						
										F=	0.627144						

[illegible][illegible]

Rum

Rum																	
	1년	2년	3년	4년	xj	x..	xj - x..	의 제곱	xij-xj					의 제곱			
1분기	10	33	15	11	17.25		-14.625	213.8906	-7.25	15.75	-2.25	-6.25	52.5625	248.0625	5.0625	39.0625	
2분기	34	35	26	28	30.75		-1.125	1.265625	3.25	4.25	-4.75	-2.75	10.5625	18.0625	22.5625	7.5625	
3분기	44	51	43	61	49.75		17.875	319.5156	-5.75	1.25	-6.75	11.25	33.0625	1.5625	45.5625	126.5625	
4분기	26	16	22	55	29.75	31.875	-2.125	4.515625	-3.75	-13.75	-7.75	25.25	14.0625	189.0625	60.0625	637.5625	
							SB^2=	2156.75							SR^2=	1511	
															F=	7.13683	
추세제거 Rum																	
	1년	2년	3년	4년	xj	x..	xj - x..	의 제곱	xij-xj					의 제곱			
1분기		-2.375	-11	-17.25	-10.2083		-9.19792	84.60167		7.833333	-0.79167	-7.04167		61.36111	0.626736	49.58507	
2분기		0	0.25	-6.625	-2.125		-1.11458	1.242296		2.125	2.375	-4.5		4.515625	5.640625	20.25	
3분기	12.625	19.5	17		16.375		17.38542	302.2527	-3.75	3.125	0.625		14.0625	9.765625	0.390625		
4분기	-8.375	-12.125	-3.75		-8.08333	-1.01042	-7.07292	50.02615	-0.29167	-4.04167	4.333333		0.085069	16.33507	18.77778		
							SB^2=	1752.491							SR^2=	201.3958	
															F=	31.90633	