

제품 포트폴리오 문제의 원가 이익률 알고리즘

Algorithm for Profit per Cost Ratio of Product Portfolio Problem

이상운*

Sang-Un Lee*

요약 제품 포트폴리오 문제(PPP)는 n 개 제품 들 중에서 최대 이익을 창출하도록 특정 제품의 생산량을 결정하는 최적화 문제이다. 이러한 최적화 문제를 풀 수 있는 유일한 방법으로 선형계획법(LP)이 알려져 있다. 선형계획법은 n 개의 선형함수를 최적화시키는 문제로 LINGO나 엑셀 해결사 등을 활용하는 실정이다. 본 논문은 제품 원가 대비 이익 비율인 CPR 개념을 도입하여 CPR 내림차순으로 정렬한 후, 최대 CPR 제품부터 허용된 최대 생산량을 실제 생산량으로 수기 식으로 결정하는 단순한 알고리즘을 제안하였다. 6개의 실험 데이터에 제안된 알고리즘을 적용한 결과 선형계획법에 비해 보다 정확한 결과를 얻을 수 있음을 보였다.

Abstract The product portfolio problem(PPP) is an optimization problem that determines the production quantity of a particular product to obtain the maximum profit among the n products. Linear programming(LP) is known as the only way to solve this optimization problem. The linear programming method is a problem that optimizes n linear functions and uses LINGO or Excel solver. This paper proposes a simple algorithm that uses CPR, a product cost-profit ratio, to sort in CPR descending order and then determines the maximum allowed production quantity by hand as the actual production quantity. As a result of applying the proposed algorithm to six experimental data, it was shown that more accurate results can be obtained compared to the linear programming method.

Key Words : Production portfolio, Linear programming, Optimization, Cost-profit ratio, Decision

1. 서 론

제품 포트폴리오 문제(product portfolio problem, PPP)는 다수의 제품을 생산함에 있어 총 생산량이나 부피 제약사항을 충족하는 범위 내에서 최대의 수익을 창출할 수 있도록 특정 제품의 생산량을 결정하는 문제이다.^[1]

PPP는 일반적으로 선형계획법(linear programming, LP)을 적용하여 문제의 해를 얻고 있다.^[2-11] 그러나 LP는 n 개의 제품이 결합된 선형 함수 들을 모두 충족하는 개별 제품의 생산량을 결정해야 하는 복잡함으로 인해 LINGO(optimization modeling software for linear, nonlinear, and integer programming)^[2] 또는 Excel-Solver^[3,4] 같은 선형계획법 해결사(linear

*정회원, 강릉원주대학교 과학기술대학 멀티미디어공학과
접수일자 2022년 11월 18일, 수정완료 2023년 5월 5일
게재확정일자 2023년 6월 9일

Received: 18 November, 2022 / Revised: 5 May, 2023 /
Accepted: 9 June, 2023

*Corresponding Author: sulee@gwnu.ac.kr
Dept. of Multimedia Eng., Gangneung-Wonju National
University, Korea

programming solver, LPS) 소프트웨어를 적용하지 않고는 수기 식으로 문제를 풀 수 없는 단점을 갖고 있다.

본 논문에서는 수기 식으로 PPP의 정확한 해를 찾을 수 있는 알고리즘을 제안한다. 제안된 방법은 원가 이익률(cost-profit ratio, CPR)을 계산하여 고 원가 이익률 제품을 우선하여 최대 생산 가능 수량을 실질적 생산량으로 결정하는 단순한 방법이다. 2장에서는 실 사례 문제를 대상으로 선형계획법을 적용하여 얻은 결과의 문제점을 고찰해 본다. 3장에서는 PPP의 해를 수기 식으로 간단히 풀 수 있는 최대 CPR 제품 우선 생산량 결정 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 다양한 유형의 문제들을 대상으로 제안된 알고리즘을 적용하여 선형계획법으로 얻은 결과와 비교하여 알고리즘의 적합성을 검증한다.

II. 관련 연구와 문제점

PPP는 모든 제품을 생산해야 하는 경우, 또는 특정 제품만을 생산해도 무방한 경우, 총 생산량에 대한 제약사항만 주어진 경우, 또는 특정 제품에 대한 제약사항만 주어진 경우 등 다양한 유형으로 제시되어 일반화된 단일 유형이 존재하지 않는다.

표 1은 Baker^[5]에서 인용된 Frosty 판매유통회사가 15개 제품을 생산하여 판매하고자 하는 PPP-1 문제로, 제품 생산 단가, 판매가, 이익, 단위 부피, 생산 가능량(최소, 최대)이 주어졌을 때 총 생산 단가는 30,000, 부피는 18,000의 제약사항을 충족하면서 최대 수익을 얻을 수 있도록 제품별 생산량을 결정하는 문제이다.

표 1. PPP-1 of Frosty distributors
Table 1. Frosty 판매유통회사의 PPP-1

Frosty Distributors Product Portfolio Problem										
Vegetable	Cost	Price	Profit	Unit space	Product Quantity		Production			
					Min	Max	Decisions	Credit	Space	Profit
Whipped potatoes	2.15	2.27	0.12	1.25	300	1,500	300	645	375	36
Creamed corn	2.20	2.48	0.28	1.25	400	2,000	2,000	4,400	2,500	560
Black-eyed peas	2.40	2.70	0.30	1.25	250	900	900	2,160	1,125	270
Artichokes	4.80	5.20	0.40	1.25	0	150	0	0	0	0
Carrots	2.60	2.92	0.32	1.25	300	1,200	1,200	3,120	1,500	384
Succotash	2.30	2.48	0.18	1.25	200	800	200	460	250	36
Ozera	2.35	2.20	-0.15	1.25	150	600	150	353	188	-21.3
Cardinalweed	2.85	3.13	0.28	1.25	100	300	100	285	125	28
Green peas	2.25	2.48	0.23	1.25	750	3,500	750	1,688	938	172.5
Spinach	2.10	2.27	0.17	1.25	400	2,000	400	840	500	68
Lima beans	2.80	3.13	0.33	1.25	500	3,300	2,150	6,020	2,688	709.5
Brussels sprouts	3.00	3.18	0.18	1.25	100	500	100	300	125	18
Green beans	2.60	2.92	0.32	1.25	500	3,200	3,200	8,320	4,000	1024
Squash	2.50	2.70	0.20	1.25	100	500	100	250	125	20
Broccoli	2.90	3.13	0.23	1.25	400	2,500	400	1,160	500	92
Total					11,950	30,000	14,918	3,396		
Constraints								30,000	18,000	

Baker^[5]는 표 1의 PPP-1에 대해 선형계획법을 적용하여 3,396의 이익을 얻는 제품별 생산량을 결정하였다.

기존의 방법들은 단지 LP를 적용하였을 뿐, 정답을 찾아가는 규칙인 알고리즘을 제시하지 못하였다는데 문제가 있다. 왜냐하면 실사용자들은 선형계획법 패키지를 구매하여 자신이 처한 문제에 적합하도록 선형계획법의 1차 선형함수를 만드는 방법에 능숙해야 하는 어려움이 있어, LP를 구매하지 않고도 단순히 해를 구하는 방법을 원하는 고객의 니즈를 충족시킬 수 없기 때문이다. LP를 PPP에 적용함에 있어 제기되는 또 다른 문제점으로는 PPP의 제품 생산량은 양의 정수(자연수)로 조절 수 없는 데도 불구하고 LP는 부동소수점의 실수 값을 제시한다는 점이다. 이러한 LP가 갖고 있는 근본적인 문제점을 해결함과 동시에 실사용자들이 MS-Excel을 이용하여 빠르고 정확한 해를 간단히 찾는 알고리즘을 3장에서 제안한다.

III. 고 원가 이익률 우선 생산 알고리즘

경제와 회계분야에서 일반적으로 적용하는 이익률(profit ratio)은 매출액 대비 수익률로, 이익금 = 판매가 - 생산가, 이익률 = 이익금/판매가로 계산한다. 또한, 원가액에 따른 이익률 계산법은 적용하지 않고 있다. 이에 반해 본 장에서는 식 (1)의 원가 이익률(cost-profit ratio, CPR)을 계산하여 원가 이익률 내림차순으로 제품 생산량을 결정하여 PPP의 정확한 해를 구하는 방법을 제안한다.

$$\text{원가 이익률(CPR)} = \frac{\text{제품 수익률(profit)}}{\text{제조 원가(cost)}} \quad (1)$$

$$\text{s.t. 제품 수익률} = \text{판매가(price)} - \text{제조원가(cost)}$$

CPR 내림차순으로 정렬하고, 제품 생산량을 '0'으로 설정한 초기 치에 대해 CPR 내림차순으로 제약조건을 충족하는 상태에서 해당 제품의 최대 생산가능량을 실질적 생산량으로 결정한다. 제안된 알고리즘을 고 원가 이익률 우선 생산 알고리즘(high cost-profit ratio first product algorithm, HCPIFPA)이라 하며, 그림 1과 같이 수행된다.

표 1의 PPP-1 문제에 HAIFPA를 적용한 결과는 그림 2에 제시되어 있다. PPP-1은 비록 적자가 나더라도 시장 지배력 상실로 인해 모든 제품을 생산해야 하는 문제로 초기 치는 q_{\min} (Product Quantity : Min)으로 설정한다.

- 제품 별 CPR 계산. $CPR=(price-cost)/cost$

[초기치 설정]

- CPR 내림차순 정렬.
- 모든 제품의 실 생산 량(q_i) = 필수 생산 제품의 최소 생산량(q_{min})으로 설정. 특별한 제약조건이 없으면 생산하지 않아도 되므로 '0'로 설정.

[제품별 생산 량 결정]

for $i = 1$ to n
 if $q_i = q_{max}$ and 제약조건 충족 then $q_i \leftarrow q_{max}$
 $i = i + 1$, continue
 else if $q_i = q_{min}$ and 제약조건 초과 then q_i 가 제약 조건을 충족하는 량으로 감소, exit.

end

그림 1. 고 원가 이익률 우선 생산 알고리즘
 Fig. 1. HCPIFPA

Vegetable	Cost (¢)	Price (Revenue, ¢)	Profit (p(¢-c))	Unit PCR (p(¢/100))	Unit space		Production		Credit (¢, \$)	Space (ft, sq ft)	Profit (p, \$)
					Min (¢/sq)	Max (¢/sq)	Qty (¢)	Space (ft, sq ft)			
Creamed corn	2.20	2.48	0.28	0.1275	1.25	400	2,000	400	880	500	112
Black-eyed peas	2.40	2.70	0.30	0.1250	1.25	250	900	250	600	313	75
Carrots	2.60	2.92	0.32	0.1231	1.25	300	1,200	300	780	375	90
Green beans	2.60	2.92	0.32	0.1231	1.25	500	3,200	500	1,500	625	160
Lima beans	2.80	3.13	0.33	0.1179	1.25	500	3,300	500	1,400	625	165
Green peas	2.25	2.48	0.23	0.1022	1.25	750	3,500	750	1,688	938	172.5
Cauliflower	2.85	3.13	0.28	0.0982	1.25	100	300	100	285	125	28
Artichokes	4.80	5.20	0.40	0.0833	1.25	0	150	0	0	0	0
Squash	2.10	2.27	0.17	0.0810	1.25	400	2,000	400	840	500	68
Squash	2.50	2.70	0.20	0.0800	1.25	100	500	100	250	125	20
Broccoli	2.90	3.13	0.23	0.0793	1.25	400	2,500	400	1,160	500	92
Succotash	2.30	2.48	0.18	0.0788	1.25	200	800	200	460	250	36
Brussels sprouts	3.00	3.18	0.18	0.0600	1.25	100	500	100	300	125	33
Whipped potatoes	2.15	2.27	0.12	0.0558	1.25	300	1,500	300	645	375	36
Okra	2.35	2.20	-0.15	-0.0638	1.25	150	600	150	353	188	-22.5
Total								4,410	18,940	5,583	1,656
내림차순 정렬											
Min (¢/sq) 30,000 18,000											

(a) Initial Value

Vegetable	Cost (¢)	Price (Revenue, ¢)	Profit (p(¢-c))	Unit PCR (p(¢/100))	Unit space		Production		Credit (¢, \$)	Space (ft, sq ft)	Profit (p, \$)
					Min (¢/sq)	Max (¢/sq)	Qty (¢)	Space (ft, sq ft)			
Creamed corn	2.20	2.48	0.28	0.1275	1.25	400	2,000	2,000	4,400	2,500	560
Black-eyed peas	2.40	2.70	0.30	0.1250	1.25	250	900	900	2,160	1,125	270
Carrots	2.60	2.92	0.32	0.1231	1.25	300	1,200	1,300	3,120	1,500	384
Green beans	2.60	2.92	0.32	0.1231	1.25	500	3,200	3,200	8,320	4,000	1,024
Lima beans	2.80	3.13	0.33	0.1179	1.25	500	3,300	2,150	6,020	2,688	709.5
Green peas	2.25	2.48	0.23	0.1022	1.25	750	3,500	750	1,688	938	172.5
Cauliflower	2.85	3.13	0.28	0.0982	1.25	100	300	100	285	125	28
Artichokes	4.80	5.20	0.40	0.0833	1.25	0	150	0	0	0	0
Squash	2.10	2.27	0.17	0.0810	1.25	400	2,000	400	840	500	68
Squash	2.50	2.70	0.20	0.0800	1.25	100	500	100	250	125	20
Broccoli	2.90	3.13	0.23	0.0793	1.25	400	2,500	400	1,160	500	92
Succotash	2.30	2.48	0.18	0.0788	1.25	200	800	200	460	250	36
Brussels sprouts	3.00	3.18	0.18	0.0600	1.25	100	500	100	300	125	33
Whipped potatoes	2.15	2.27	0.12	0.0558	1.25	300	1,500	300	645	375	36
Okra	2.35	2.20	-0.15	-0.0638	1.25	150	600	150	353	188	-22.5
Total								11,850	30,000	14,938	3,306
Constraints 30,000 18,000											

(f) Final Solution

그림 2. CFMP-1의 고 원가 이익률 우선 생산 알고리즘
 Fig. 2. HCPIFPA for CFMP-1

HCPIFPA는 Unit PCR 내림차순으로 정렬하고, 제품별 생산량 초기치를 q_{min} 으로 설정한 초기 치에 대해 최대 Unit CPR인 Creamed corn, Black-eyed peas, Carrots, Green beans까지는 q_{max} 를 생산량으로 결정함에 있어 제약조건인 Credit(30,000)과 Space(18,000)을 충족하였다. 다음 생산 제품인 Lima beans를 q_{max} (3,300)로 배정한 결과 Credit (30,000)을 초과하여 2,150으로 줄여 q_{max} (3,300)의 제약조건을 충족시키는 최종 결과를 얻었다. 이 결과는 Baker^[2]가 LP를 적용하여 얻은 결과와 동일함을 알 수 있다. 결론적으로 LP를 적용하지 않고 단순히 MS-Excel을 사용하여 Unit CPR 내림차순 정렬 후 순서대로 최대 생산 가능 수량을 실제 생산량으로 결정하는 규칙을 적용하면 쉽게 해를 구할 수 있음을 알 수 있다.

IV. 알고리즘 적용 및 결과 분석

본 장에서는 그림 3의 다양한 유형의 실험 데이터에 HCPIFPA를 적용하여 선형계획법으로 얻은 해와 비교를 통해 제안된 알고리즘의 적합성을 검증한다. 이들 문제는 공통적으로 생산 최소량 제약조건이 명시되지 않아 $p_{min}=0$ 이다.

Investment	Percent Yield	Amount Invested	Yield	Percent of Portfolio	Ratio
New Car Loans	6.90	\$562,500	\$38,812.50	11.25	15%
Used Car Loans	8.25	\$187,500	\$15,468.75	3.75	
Real Estate Loans	8.90	\$2,500,000	\$222,500.00	50.00	
Unsecured Loans	13.00	\$1,250,000	\$162,500.00	25.00	
Bank CDs	4.60	\$500,000	\$23,000.00	10.00	
Total		\$5,000,000	\$462,281.25	100.00	
Constraints		Auto Loans	15.00 %		
		Total Yield	9.25 %		

(a) PPP-2^[3]

Asset Class	Construction cost (Rs/Sqft)	Sale Price (Rs/Sqft)	Margin (Rs/Sqft)	Recommended GFA	Absorption (Sqft)	Regularity Constraints
Retail	4,000	7,500	3,500	X1	500,000	≤ 500,000
Residential	2,500	3,200	700	X2	900,000	≤ 900,000
Commercial	3,500	5,000	1,500	X3	753,480	≤ 33%
Hospitality	5,000	10,000	5,000	X4	200,000	≤ 200,000
Community	2,000	0	-2,000	X5	430,560	≥ 20%
					2,784,040	2,152,800

(b) PPP-3^[6]

Component(lb)	Hotel (%)	Restaurant (%)	Market (%)	Cost(lb)	Max weekly availability(lb)
Abundo	20	35	10	\$0.60	40,000
Colmado	40	15	30	\$0.80	25,000
Maximo	15	20	40	\$0.55	20,000
Saboro	25	30	15	\$0.70	45,000
Wholesale price(lb)	1.25	1.5	1.4		100,000
Minimum Request Qty	10,000	25,000	30,000		

(c) PPP-4^[7]

Product	Shirts	Hats	Coats	Scarfs	Gloves	Gowns
No. Produced	120	197	89	372	400	56
Labor	2	3	4	1	2	5
Raw Material	2	1.5	4.8	0.7	2.5	9.7
Unit Price	17.49	49.99	110	9.99	19.95	250.95
Unit Cost	6.59	25.35	48.99	3.45	9.95	105.55
Unit Profit	10.9	24.64	61.01	6.54	10	145.4
Demand	250	356	400	1680	900	390

Product	No. Produced	Labor	Raw Material	Unit Price	Unit Cost	Unit Profit	Demand	Product			
								Labor	Raw Material	Profit	
Shirts	150	6.0	2.2	12.59	6.59	6.00	900	900	480.0	900.00	
Hats	316.6667	3	1.5	49.99	25.35	24.64	356	950.000	475.0	7802.67	
Coats	400	4	4.8	110.00	48.99	61.01	400	1600	1920.0	24048.00	
Scarfs	0	1	0.7	9.99	3.45	6.54	1680	0	0.0	0.00	
Gloves	0	2	2.5	19.95	9.95	10.00	900	0	0.0	0.00	
Gowns	300	5	9.7	250.95	105.55	145.40	390	1950	3780.0	56706.00	
								Used:	4500.0001	6178.0	88972.87
								Available:	4500	7450	

(d) PPP-5^[4,8]

Product	Shirts	Hats	Coats	Scarfs	Gloves	Gowns
No. Produced	150	160	170	180	190	200
Labor	6.0	5.0	4.0	3.0	2.5	1.5
Raw Material	3.2	2.6	1.5	0.8	0.7	0.3
Unit Price	12.50	11.00	9.00	7.00	6.00	3.00
Variable Cost	6.50	5.70	3.60	2.80	2.20	1.20
Unit Profit	6.00	5.30	5.40	4.20	3.80	1.80
Demand	960	928	1041	977	1084	1055

Product	No. Produced	Labor	Raw Material	Unit Price	Variable Cost	Unit Profit	Demand	Product			
								Labor	Raw Material	Profit	
Shirts	150	6.0	2.2	12.59	6.59	6.00	900	900	480.0	900.00	
Hats	160	5.0	2.6	11.00	5.70	5.30	928	800	416.0	848.00	
Coats	170	4.0	1.5	9.00	3.60	5.40	1041	680	255.0	918.00	
Scarfs	180	3.0	0.8	7.00	2.80	4.20	977	540	144.0	756.00	
Gloves	190	2.5	0.7	6.00	2.20	3.80	1084	475	133.0	722.00	
Gowns	200	1.5	0.3	3.00	1.20	1.80	1055	300	60.0	360.00	
								Used:	5695	1488	4504
								Available:	4500	1600	

(e) PPP-6^[9]

그림 3. 실험 데이터
 Fig. 3. Experimental data

그림 3의 실험 데이터에 대해 HCPIFPA를 적용한 결과는 그림 4에 제시되어 있다.

Investment	Percent Yield	Amount Invested	Yield	Percent of Portfolio
Unsecured Loans	13.00	\$0	\$0.00	0.00
Real Estate Loans	8.90	\$0	\$0.00	0.00
Used Car Loans	8.25	\$750,000	\$61,875.00	15.00
New Car Loans	6.90	\$0	\$0.00	0.00
Bank CDs	4.60	\$0	\$0.00	0.00
Total		\$750,000	\$61,875.00	15.00
Constraints		Auto Loans :	15.00 %	
		Total Yield :	8.25 %	

Investment	Percent Yield	Amount Invested	Yield	Percent of Portfolio
Unsecured Loans	13.00	\$4,250,000	\$552,500.00	85.00
Real Estate Loans	8.90	\$0	\$0.00	0.00
Used Car Loans	8.25	\$750,000	\$61,875.00	15.00
New Car Loans	6.90	\$0	\$0.00	0.00
Bank CDs	4.60	\$0	\$0.00	0.00
Total		\$5,000,000	\$614,375.00	100.00
Constraints		Auto Loans :	15.00 %	
		Total Yield :	12.29 %	

(a) PPP-2

Asset Class	Construction cost (\$/Sqft)	Sale Price (\$/Sqft)	Margin (\$/Sqft)	Recommended GFA	Absorption (\$/Sqft)	Regularity Constraints	Assignment	Margin(Total)
Hospitality	5,000	10,000	2,000	3X	500,000	≤ 500,000	0	0
Rental	4,000	7,500	1,500	3X	900,000	≤ 900,000	0	0
Commercial	3,500	5,000	1,500	3X	753,480	≤ 37%	322,240	483,300,000
Residential	2,500	3,200	700	3X	200,000	≤ 200,000	0	0
Community	2,000	0	2,000	3X	430,560	≥ 20%	430,560	861,120,000
					2,784,040	2,185,800	430,560	861,120,000

Asset Class	Construction cost (\$/Sqft)	Sale Price (\$/Sqft)	Margin (\$/Sqft)	Recommended GFA	Absorption (\$/Sqft)	Regularity Constraints	Assignment	Margin(Total)
Hospitality	5,000	10,000	5,000	3X	500,000	≤ 500,000	500,000	2,500,000,000
Rental	4,000	7,500	3,500	3X	900,000	≤ 900,000	900,000	3,150,000,000
Commercial	3,500	5,000	1,500	3X	753,480	≤ 37%	322,240	483,300,000
Residential	2,500	3,200	700	3X	200,000	≤ 200,000	0	0
Community	2,000	0	2,000	3X	430,560	≥ 20%	430,560	861,120,000
					2,784,040	2,185,800	2,152,800	5,772,340,000

(b) PPP-3

Component(B)	Hotel (%)	Restaurant (%)	Market (%)	Cost(B)	Max weekly availability(B)
Cobanado	40	15	35	\$0.80	25,000
Saboro	25	30	15	\$0.70	45,000
Abundo	20	35	10	\$0.60	40,000
Maximo	15	20	40	\$0.55	20,000
Wholesale price(B)	1.25	1.5	1.4		100,000
Minimum Request Qty	10,000	25,000	30,000		

Component(B)	Hotel	Restaurant	Market	Cost(B)	Max weekly availability(B)	구입량	구입비율
Cobanado	4000	3750	10500	\$0.80	25,000	18,250	\$14,600
Saboro	7500	7500	4500	\$0.70	45,000	14,500	\$10,150
Abundo	2000	8750	3000	\$0.60	40,000	13,750	\$8,250
Maximo	1500	5000	12000	\$0.55	20,000	18,400	\$10,175
Wholesale price(B)	1.25	1.50	1.40		100,000		\$48,175
Minimum Request Qty	10,000	25,000	30,000				
단위비용	\$11,500	\$17,500	\$42,000	\$92,000			Profit 148,825

(c) PPP-4

Product	No. Produced	Labor	Raw Material	Unit Price	Unit Cost	Unit Profit	Unit Labor Profit	Unit Material Profit	Unit Profit	Desired	Labor	Raw Material	Profit
Corn	0	1	1.8	20.93	101.31	148.88	14.99	49.90	64.89	300	540	549.00	21600.00
Cash	0	1	1.5	49.99	29.33	24.64	8.33	16.47	19.80	600	900	900.00	35640.00
Beans	0	2	2.8	11.00	6.19	10.80	3.45	5.67	9.12	200	400	400.00	18240.00
Olive	0	2	2.1	19.91	9.91	10.80	5.40	4.80	10.20	300	600	600.00	30600.00
Wheat	0	1	0.7	9.99	1.41	6.54	4.54	6.54	11.08	1000	700	700.00	7700.00
											Used Available	4000	7400

Product	No. Produced	Labor	Raw Material	Unit Price	Unit Cost	Unit Profit	Unit Labor Profit	Unit Material Profit	Unit Profit	Desired	Labor	Raw Material	Profit
Corn	0	1	1.8	20.93	101.31	148.88	14.99	49.90	64.89	300	540	549.00	21600.00
Cash	0	1	1.5	49.99	29.33	24.64	8.33	16.47	19.80	600	900	900.00	35640.00
Beans	0	2	2.8	11.00	6.19	10.80	3.45	5.67	9.12	200	400	400.00	18240.00
Olive	0	2	2.1	19.91	9.91	10.80	5.40	4.80	10.20	300	600	600.00	30600.00
Wheat	0	1	0.7	9.99	1.41	6.54	4.54	6.54	11.08	1000	700	700.00	7700.00
											Used Available	4000	7400

Product	No. Produced	Labor	Raw Material	Unit Price	Unit Cost	Unit Profit	Unit Labor Profit	Unit Material Profit	Unit Profit	Desired	Labor	Raw Material	Profit
Corn	0	1	1.8	20.93	101.31	148.88	14.99	49.90	64.89	300	540	549.00	21600.00
Cash	0	1	1.5	49.99	29.33	24.64	8.33	16.47	19.80	600	900	900.00	35640.00
Beans	0	2	2.8	11.00	6.19	10.80	3.45	5.67	9.12	200	400	400.00	18240.00
Olive	0	2	2.1	19.91	9.91	10.80	5.40	4.80	10.20	300	600	600.00	30600.00
Wheat	0	1	0.7	9.99	1.41	6.54	4.54	6.54	11.08	1000	700	700.00	7700.00
											Used Available	4000	7400

(d) PPP-5

Product	No. Produced	Labor	Raw Material	Unit Price	Variable Cost	Unit Profit	Unit Labor Profit	Unit Material Profit	Unit Profit	Desired	Labor	Raw Material	Profit
Corn	0	2.2	0.7	4.00	2.20	2.80	1.27	1.53	2.80	100	220	0	0.00
Cash	0	1.5	0.8	7.00	2.80	4.20	2.80	1.40	4.20	200	300	0	0.00
Beans	0	4.0	1.5	9.00	3.60	5.40	1.35	1.35	2.70	400	600	0	0.00
Olive	0	1.5	0.8	9.00	3.60	5.40	3.60	1.80	5.40	100	150	0	0.00
Wheat	0	0.5	2.8	11.00	5.70	5.30	1.06	1.04	2.10	50	140	0	0.00
Wheat	0	0.9	3.2	12.00	6.30	5.70	1.69	1.89	3.58	90	250	0	0.00
											Used Available	4000	8000

Product	No. Produced	Labor	Raw Material	Unit Price	Variable Cost	Unit Profit	Unit Labor Profit	Unit Material Profit	Unit Profit	Desired	Labor	Raw Material	Profit
Corn	1000	2.2	0.7	4.00	2.20	2.80	1.27	1.53	2.80	100	220	0	2160.00
Cash	500,000	1.5	0.8	7.00	2.80	4.20	2.80	1.40	4.20	300	450	0	2100.00
Beans	100	4.0	1.5	9.00	3.60	5.40	1.35	1.35	2.70	400	600	0	2700.00
Olive	100	1.5	0.8	9.00	3.60	5.40	3.60	1.80	5.40	100	150	0	540.00
Wheat	0	0.5	2.8	11.00	5.70	5.30	1.06	1.04	2.10	50	140	0	0.00
Wheat	0	0.9	3.2	12.00	6.30	5.70	1.69	1.89	3.58	90	250	0	0.00
											Used Available	4000	8000

Product	No. Produced	Labor	Raw Material	Unit Price	Variable Cost	Unit Profit	Unit Labor Profit	Unit Material Profit	Unit Profit	Desired	Labor	Raw Material	Profit
Corn	1000	2.2	0.7	4.00	2.20	2.80	1.27	1.53	2.80	100	220	0	2160.00
Cash	500,000	1.5	0.8	7.00	2.80	4.20	2.80	1.40	4.20	300	450	0	2100.00
Beans	100	4.0	1.5	9.00	3.60	5.40	1.35	1.35	2.70	400	600	0	2700.00
Olive	100	1.5	0.8	9.00	3.60	5.40	3.60	1.80	5.40	100	150	0	540.00
Wheat	0	0.5	2.8	11.00	5.70	5.30	1.06	1.04	2.10	50	140	0	0.00
Wheat	0	0.9	3.2	12.00	6.30	5.70	1.69	1.89	3.58	90	250	0	0.00
											Used Available	4000	8000

(e) PPP-6

그림 4. 실험 데이터에 관한 HCPIFPA Fig. 4. HCPIFPA for CFMP-2

PPP-5와 PPP-6에 대해서는 원문에서 제시한 LP의 결과와 일치하는지 여부를 검증하기 위해 실수 값의 제품 생산량을 보인 후, 양의 정수인 생산량을 수정한 정확한 결과를 추가로 제시하였다.

본 논문에서 거론된 실험 데이터들에 대해 기존에 알려진 해와 제안된 HCPIFPA로 구한 결과를 요약하여 표 2에 제시하였다.

표 2. HCPIFPA 성능 Table 2. Performance of HCPIFPA

문제	총 이익	
	알려진 해	HCPIFPA
PPP-1	3,396	3,396
PPP-2	462,281.25	614,375.00
PPP-3	-	5,272,240,000
PPP-4	-	48,825
PPP-5	실수 : 88,912.67 정수 : 88,895.24	실수 : 88,912.67 정수 : 88,902.32
PPP-6	실수 : 6,625.20 정수 : 6,622.40	실수 : 6,625.20 정수 : 6,624.20

제안된 HCPIFPA는 제품을 쪼갤 수 없는 상황이지만 쪼개어 일부만을 생산하는 PPP-5와 PPP-6의 LP결과인 실수 값과 비교하였을 때 동일한 결과를 얻었으며, 정수 값인 단위 생산량 기준으로 하였을 경우 LP에 비해 보다 많은 이익을 얻을 수 있음을 보였다. 제안된 알고리즘은 PPP-1을 제외하고는 나머지 5개 실험 데이터에서 LP에 비해 보다 많은 이익을 창출할 수 있는 결과를 보였다.

결론적으로 본 논문에서는 PPP는 복잡한 선형함수 최적화를 수행하는 LP를 적용하지 않고, 단순히 MS-Excel 표를 활용하여 CPR 내림차순으로 정렬하고, 주어진 제약조건을 충족할 때까지 최대 CPR 제품부터 최대 허용 생산량을 실제 생산량으로 결정하면 초보자도 쉽게 해를 구할 수 있는 알고리즘이 존재함을 보였다.

V. 결론

본 논문은 n 개 제품들 중에서 최대 이익을 창출할 수 있도록 특정 제품의 생산량을 결정하는 제품 포트폴리오 문제(PPP)에 대해 MS-Excel을 활용하여 수기 식으로 단순히 정확한 해를 찾을 수 있는 알고리즘을 제안하였다.

PPP의 정확한 해인 최대 이익 창출을 위한 제품 생산량 결정을 하는 핵심은 제품의 단가 대비 이익률(판매가-

단가)인 CPR로 결정할 수 있다는 단순한 논리에 기반하여 최대 CPR 제품부터 최대 허용 생산량을 실제 생산량으로 배정하는 방법으로 총 이익을 극대화 시킬 수 있었다.

본 논문에서 제안한 알고리즘을 6개의 다양한 형태의 PPP에 적용한 결과 기존의 LP에 비해 보다 높은 이익을 창출함과 동시에 제품 생산량을 정수 값으로 결정하는 장점도 갖고 있음을 보였다. 이러한 결과를 얻은 핵심은 CPR 개념을 도입하였다는 점이 본 논문의 핵심이다.

References

- [1] T. Arto, K. V. Hanna, and H. Harri, "Product Portfolio Management-Current Challenges and Preconditions," *International Journal of Performance Measurement*, Vol. 4, No.2, pp. 69-90, Jan. 2014.
- [2] Lindo Systems, "LINGO 16.0 Users Manual," https://www.lindo.com/doc/online_help/lingo16_0/lingo4_content.htm, Retrieved Nov. 2022.
- [3] Kawser, "How to Do Portfolio Optimization Using Excel Solver," <https://www.exceldeemy.com/portfolio-optimization-excel-solver/>, Dec. 2013.
- [4] U. Akinci, "How to Calculate Optimal Product Mix with MS Excel "Solver" to Maximize Profits," <https://technicalcommunicationcenter.com/2013/03/29/how-to-calculate-optimal-product-mix-with-ms-excel-2010-solver-to-maximize-profits/>, Retrieved Nov. 2022.
- [5] K. R. Baker, "Gaining Insight in Linear Programming from Patterns in Optimal Solutions," *INFORMS Transactions on Education*, Vol. 1, No. 1, pp. 4-17, Sep. 2000, <https://doi.org/10.1287/ited.1.1.4>
- [6] N. Jawaaid, "Product Mix Optimization," <https://www.feasibility.pro/product-mix-optimization/>, Feb. 2013.
- [7] Chegg, "Question: Instructions: Answer The Following Questions Using Excel Solver. Attach The Actual Results From The Excel Solver," <https://www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/instructions-answer-following-questions-using-excel-solver-attach-actual-results-excel-sol-q37307755>, Retrieved Nov. 2022.
- [8] Chegg, "Question: Goal Seek Exercise #5d: Calculate Optimal Product Mix With MS Excel 2016 (Or Later Version) "Solver" To Maximize Profits This Is P," <https://www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/goal-seek-exercise-5d-calculate-optimal-product-mix-ms-excel-2016-later-version-solver-max-q40524154>, Retrieved Nov. 2022.
- [9] Support.microsoft.com, "Using Solver to Determine the Optimal Product Mix," <https://support.microsoft.com/en-us/office/using-solver-to-determine-the-optimal-product-mix-c057e214>

-962f-4339-8207-e593e340491f, Retrieved Nov. 2022.

- [10] University College Dublin, "Business MIS30040 Analytics Modelling : Product Portfolio Problem.xlsx," <https://www.coursehero.com/file/113947056/Product-Portfolio-Problemxlsx/>, University College Dublin, Retrieved Nov. 2022.
- [11] Oracle, "Oracle® Crystal Ball Reference and Examples Guide: Product Mix Spreadsheet Model," https://docs.oracle.com/cd/E57185_01/CBREG/ch07s01s03s02.html, Retrieved Nov. 2022.

저 자 소 개

이 상 윤(정회원)



- 1987년 : 한국항공대학교 항공전자공학과 (학사)
- 1997년 : 경상대학교 컴퓨터과학과 (석사)
- 2001년 : 경상대학교 컴퓨터과학과 (박사)
- 2003년 : 강원도립대학 컴퓨터응용과 전임강사
- 2004년 ~ 2007.2 : 국립 원주대학 여성교양과 조교수
- 2007.3 ~ 2015.3 : 강릉원주대학교 멀티미디어공학과 부교수
- 2015.4 ~ 현재 : 강릉원주대학교 멀티미디어공학과 정교수
- 관심분야 : 소프트웨어 프로젝트 관리, 개발 방법론, 분석과 설계 방법론, 시험 및 품질보증, 소프트웨어 신뢰성, 인공지능과 빅데이터분석, 최적화 알고리즘
- e-mail : sulee@gwnu.ac.kr