

화학 제품 가격의 변동으로 인한 위험을 최소화하며 수익을 극대화하기 위한 생산 비율 최적화에 관한 연구

The Optimization of the Production Ratio by the Mean-variance Analysis of the Chemical Products Prices

박 정 호*, 박 선 원
(Jeongho Park and Sunwon Park)

Abstract : The prices of chemical products are fluctuated by several factors. The chemical companies can't predict and be ready to all of these changes, so they are exposed to the risk of a profit fluctuation. But they can reduce this risk by making a well-diversified product portfolio. This problem can be thought as the optimization of the product portfolio. We assume that the profits come from the 'spread' between a naphtha and a chemical product. We calculate a mean and a variation of each spread and develop an automatic module to calculate the optimal portion of each product. The theory is based on the Markowitz portfolio management. It maximizes the expected return while minimizing the volatility. At last we draw an investment selection curve to compare each alternative and to demonstrate the superiority. And we suggest that an investment selection curve can be a decision-making tool.

Keywords : chemical product, Markowitz model, portfolio optimization, diversification, risk reduction

I. 서론

오늘날 다양한 외부 환경 변수들이 화학 회사의 수익에 크게 영향을 미치고 있다. 화학 산업의 경쟁은 날이 갈수록 치열해지고 있고 어제의 특화 제품이 오늘은 범용 제품이 될 정도로 기술 개발 속도가 굉장히 빨라지고 있다. 지금도 해외의 경쟁자들은 더 낮은 가격을 앞세워 국내의 화학 제품 시장을 침투해 들어오고 있다. 따라서 가격은 점점 더 낮아질 수 있다. 또한 심지어 가격이 가장 높을 때에도 이익은 더 작아질 수 있다. 왜냐하면 그 때에는 원재료 가격과 에너지 비용 또한 가장 높은 시기이기 때문이다. 그리고 화학 산업의 특성상 공장을 새로 지어 생산용량을 늘리는 데에는 긴 시간이 걸리기 때문에 가격 변화에 탄력적으로 대응하기에도 힘든 면이 있다. 이러한 비용의 예측 불가능성과 낮은 대응력은 경영 목표를 꾸준히 제대로 달성해 나가기 어렵게 만든다.

이와 같은 다양한 외부 환경 변수를 예측하고 대응하는 것이 매우 어렵다 하더라도 국내 화학 기업들이 효과적인 경영 계획을 수립한다면 악영향을 최소화하고 수익성을 개선시킬 수 있을 것이다. 이러한 경영 계획의 하나로 제품 생산 비율의 최적화가 있다.

본 연구에서는 화학 제품의 생산에 영향을 미치는 변수 중 생산 용량 제약과 에너지 비용은 무시하고 원재료 가격은 납사의 가격만 있다고 가정하여 문제를 단순화하였다. 이 최적화 문제를 현대 투자 이론의 기초가 되는 마코위츠의 포트폴리오 최적화 이론의 평균, 분산 분석 모델을 이용

하여 풀었다. 마지막으로 최적화 결과로 얻어진 투자선택 곡선이 경영 계획의 효과적인 의사 결정 도구가 될 수 있음을 제안하였다.

II. 기본 개념

1. 제품 다각화의 효과

한 한국의 화학 회사가 단지 PVC 한 제품만을 생산하는 상황을 가정해 보자. 만약 어느 날 중국의 한 화학 회사가 대규모의 생산 능력을 가진 PVC 공장을 건설하기로 결정했다는 발표가 나오면 공급이 수요를 초과할 것이라는 우려 때문에 PVC 가격이 급락할 것이다. 이런 상황에서 이 회사는 PVC 제품의 마진이 회사 수익의 모든 부분을 차지하기 때문에 수익이 속수무책으로 급락할 수 밖에 없다. 하지만 PVC 이외의 다양한 제품 포트폴리오를 보유하고 있었다면 이와 같은 상황에서 물론 PVC 가격 급락으로 인한 수익성 악화는 피할 수 없겠으나 PVC의 생산 비율을 줄이고 다른 고부가 가치 제품의 생산 비율을 늘린다면 하역 적절히 대응할 수 있었을 것이다. 이것이 바로 제품 다각화의 효과이다. 이런 간단한 상황에서도 알 수 있듯이 제품 다각화는 손실을 막을 수는 없지만 위험을 감소시키고 이익을 안정화 시켜주는 효과가 있다.

2. 최적화 모델

분산투자의 개념은 “계란을 모두 한 바구니에 담아서 안된다.”는 격언이 있는 것처럼 현대 투자이론이 발전하기 전보다 훨씬 이전부터 있어 왔다. 1952년에 Harry Markowitz가 분산투자의 원리를 이용한 포트폴리오 선택 모형을 발표하였고 이 업적으로 그는 1990년에 노벨 경제학상을 수상하였다. 이 모형에서 제품 가격의 분산은 위험으로 간주된다. 각각의 제품에 대한 생산 비율을 w_i 라 할

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2006. 8. 30., 채택확정 : 2006. 10. 10.

박정호, 박선원 : 한국과학기술원 생명화학공학과

(jhpark@psc.kaist.ac.kr/sunwon@kaist.ac.kr)

때 전체 제품 포트폴리오의 기대수익률과 분산은 다음 식으로 구해진다.

$$E(r_p) = \sum_{i=1}^n w_i E(r_i) \quad (1)$$

$$\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j Cov(r_i, r_j) \quad (2)$$

예를 들어 1보다 작은 상관관계를 가진 두 가지 제품을 같이 생산하면 각각 하나씩 생산하는 것보다 전체의 분산이 줄어들 것이다. 그리고 각 제품의 생산 비율에 따라 전체 포트폴리오의 분산이 달라진다. 이 원리에 따라 그의 모형은 어떤 일정한 리스크를 전제로 한 경우, 최대의 기대수익률을 주는 포트폴리오가 존재한다는 것이다. 본 연구에서는 전체 포트폴리오의 분산을 최소화하는 것을 목적 함수로 삼고 이 때 최대의 이익을 낼 수 있는 생산 비율을 컴퓨터를 이용하여 계산하였다.

III. 최적화

1. 제품 선택 및 스프레드 계산

본 연구에서 선택한 화학제품들은 Ethylene, Propylene, ABS, Benzene, Toluene, Mixed Xylene, Styrene, LLDPE, LDPE, HDPE, PP으로 총 11가지 제품이다. 제품의 마진은 일반적으로 제품 가격에서 생산 비용을 빼서 구하는데 화학 제품은 종류에 따라서 한 물질로부터 바로 생산되는 것도 있고 여러 중간 물질을 거쳐서 만들어 지는 것도 있으므로 공통된 마진 계산법을 사용하기는 어렵다. 하지만 현실적으로 이러한 모든 비용 요소를 고려하여 11가지 제품 각각의 마진을 구하기 어렵기도 하고 각 제품에 대해 동일한 조건을 적용하는 것이 오차를 줄일 수 있다고 생각된다. 따라서 우리는 모든 제품 동일하게 납사의 가격을 뺀 차이를 제품의 마진으로 계산하였다. 이 마진을 일반적으로 ‘스프레드’라고 부른다. 2000년 3월부터 2006년 1월까지 계산된 각 화학 제품의 스프레드의 변화는 그림 1과 같다.

2. 입력 데이터 및 공분산 행렬

그래프와 같은 기간 동안의 제품 스프레드의 평균과 표준편차를 구하였다.

평균, 표준편차를 이용하여 각 제품 간의 상관계수를 구하고 다음과 같은 식으로 상관계수 행렬을 구하였다.

$$\rho_{x,y} = \frac{Cov(X,Y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (3)$$

구해진 상관계수를 바탕으로 공분산 행렬을 구하고 제품 간의 공분산에 각 제품의 생산 비율을 곱해서 모두 더하면 전체 제품 포트폴리오의 분산이 구해진다.

3. 제약 조건

여기서 생산 비율이란 납사 1MT(Metric Ton)으로부터 생산되어 나오는 질량을 의미한다. 스프레드의 단위가 USD/MT 이므로 각 제품의 스프레드에 생산 질량을 곱해서 더하면 전체 스프레드의 합(USD)이 나오므로 총 스프레드는 납사 1ton으로부터의 이익을 의미한다.

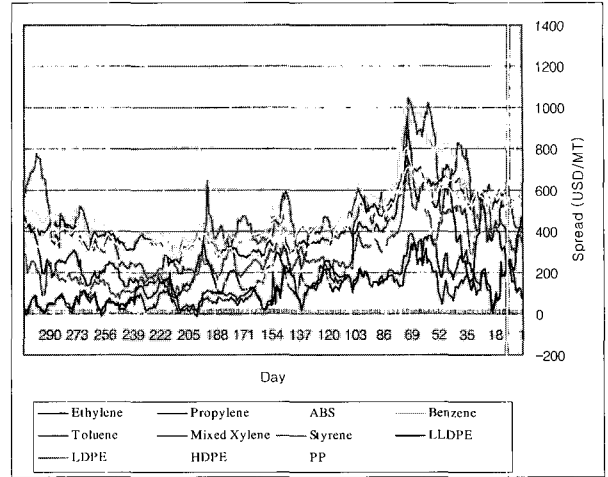


그림 1. 화학 제품의 스프레드 변동.

Fig. 1. Spread changes of the chemical products.

표 1. 제품 스프레드의 평균과 표준편차.

Table 1. Mean and deviation of the product spread.

제품	평균 (USD/MT)	표준편차 (USD/MT)
Ethylene	282.28	166.87
Propylene	277.06	131.21
ABS	749.06	164.91
Benzene	202.91	183.72
Toluene	124.87	92.33
Mixed Xylene	119.33	69.49
Styrene	458.38	189.22
LLDPE	433.04	126.56
LDPE	501.75	164.01
HDPE	417.71	115.88
PP	431.63	128.74

3.1 동일 비율 생산 조건

최적화 효과에 대한 비교 대상으로 삼기 위해서 우리는 무계획적인 제품 포트폴리오를 하나 만들었다. 이 포트폴리오의 제품 생산 비율이 모두 1/11로 동일하다.

3.2 투자선택 곡선의 조건

생산의 제약 없이 제품 비율을 자유롭게 조절할 수 있는 회사가 있다고 가정하였으며 제약 조건은 다음과 같다.

① Ethylene, Propylene, Benzene, Toluene, and Mixed Xylene은 PE나 PP와 같은 2차 제품을 생산하는데 사용되므로 자체 공정에서 생산된 양 이외에 추가로 필요하면 외부에서 구입해 쓸 수도 있다. 따라서 이 제품들은 마이너스의 생산 비율도 가능하다.

② 몇몇 제품에 대한 편중을 막기 위해 어느 제품의 생산 비율도 30%를 넘지 않는다.

3.3 생산 물질 수지를 고려한 조건

실제 공정에서는 납사 질량을 기준으로 한 생산 제품의 질량 비율이 정해진다. 납사 질량 1MT을 기준으로 각 제품의 생산 비율은 다음 그림과 같다.

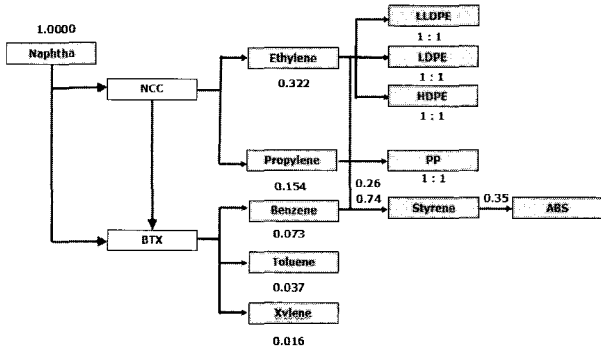


그림 2. 실제 공정의 제품 생산 비율.
Fig. 2. Production ratio of the real process.

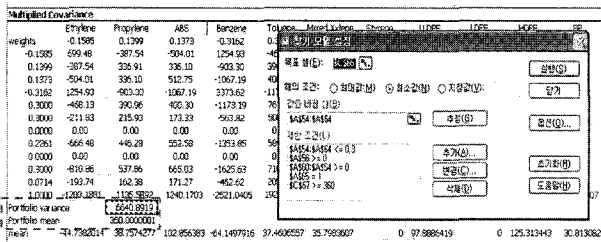


그림 3. 최적화 계산 과정.
Fig. 3. Optimal point calculation.

실제 공정과 비교적 비슷한 이 생산 비율 제약 조건을 추가한 최적화된 제품 포트폴리오를 구하였다.

위의 그림에서와 같이 컴퓨터를 이용하여 전체 포트폴리오의 분산을 최소화로 하는 것을 목표로 제약조건을 바꾸어 주면 최적 생산 비율을 구할 수 있다.

IV. 결과

최적화 결과 구해진 각 제약 조건에 따른 포트폴리오의 제품별 생산 비율, 평균과 분산이 다음 표에 정리되어 있다.

무계획으로 모든 제품이 같은 비율로 생산된 포트폴리오는 평균이 363.46에 15714.64라는 큰 분산을 나타낸다. 분산이 최소화된 포트폴리오는 이에 비해 절반 정도인 6468.53의 작은 분산을 가지지만 평균 또한 278.54로 작아진다. 물질 수지 제약이 추가된 포트폴리오는 417.92의 비교적 큰 평균과 11221.99의 분산을 가진다.

세 가지 포트폴리오의 총 스프레드는 그림 4와 같은 움직임을 보인다.

모두 같은 비율로 생산했을 경우에는 그래프에서도 보여 지듯이 변동폭이 굉장히 크게 나타난다. 수익이 높고 치솟은 기간 동안에는 일시적으로 큰 수익을 올렸겠지만 그 이후에는 다시 크게 하락함을 알 수 있다. 수익의 변동을 적절히 조절하지 못하는 기업은 크게 치솟은 수익만을 보고 경영 계획을 세웠다면 그 이후에 고전을 면치 못했을 것이다. 이에 비해 분산을 최소화한 포트폴리오는 확실히 변동폭이 줄어든 것을 볼 수 있다. 하지만 변동폭 축소에 목적을 두었기 때문에 전체적인 수익성의 수준이 떨어짐을 알 수 있다. 비교적 현실 상황에 근접한 물질 수지의 제약이

표 2. 최적화 결과.

Table 2. Optimization result.

	무계획 (동일비율)	분산 최소화	물질 수지 제약
Ethylene	0.09	-0.0975	-0.5889
Propylene	0.09	0.2518	0.2558
ABS	0.09	0.0000	0.0000
Benzene	0.09	-0.2661	0.0902
Toluene	0.09	0.3000	0.0615
Mixed Xylene	0.09	0.3000	0.0266
Styrene	0.09	0.0000	0.0422
LLDPE	0.09	0.2118	0.0000
LDPE	0.09	0.0000	0.0000
HDPE	0.09	0.3000	1.1127
PP	0.09	0.0000	0.0000
표준편차(USD /naphtha MT)	125.36	80.43	105.93
평균(USD /naphtha MT)	363.46	278.54	417.92

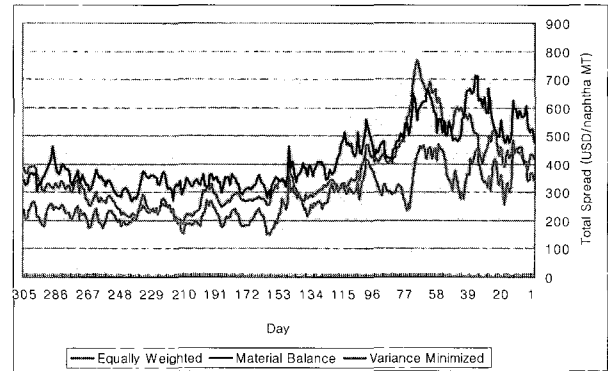


그림 4. 세 가지 최적화 결과의 스프레드 합 변동.
Fig. 4. The sums of the spreads in three cases.

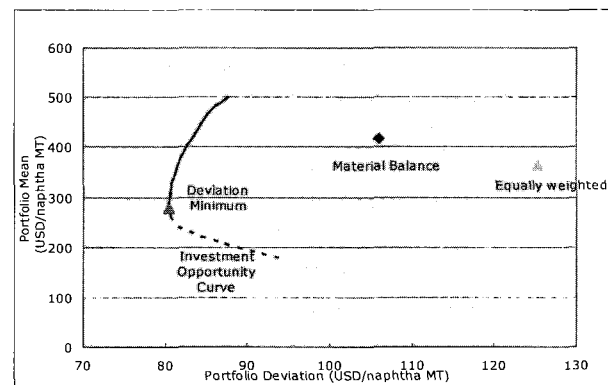


그림 5. 투자선택 곡선.
Fig. 5. Investment-selection curve.

있을 경우에는 변동폭이 다소 확대되기는 하나 수익의 변동을 적절히 조절하는데 성공한 것으로 보인다.

각 포트폴리오의 효율성을 비교하기 위하여 각 포트폴리오의 평균과 표준편차를 하나의 그래프에 동시에 나타내었

다. 특히 분산을 최소화하는 목적 함수를 가진 포트폴리오는 목표 평균값을 바꾸어 주면 그 평균값에 최대한 근접하면서 동시에 분산을 최소화하는 최적 포트폴리오가 얻어진다. 목표 평균값을 바꾸어 주면서 구해지는 이러한 최적 포트폴리오들을 연결하면 하나의 곡선이 얻어지는데 이 곡선은 곡선 위의 어느 한 최적점도 다른 최적점들에 비해 우위에 있다고 할 수 없으므로 '투자선택 곡선'으로 부를 수 있다. 이 투자선택 곡선과 다른 두 개의 점을 비교한 그래프는 그림 5와 같다.

투자선택 곡선을 보면 같은 분산에 대해서 다른 평균값을 갖는 두 개의 점이 존재한다. 분산은 위험이고 같은 위험에 대해서는 더 큰 수익이 선호될 것이므로 두 개의 점 중에서 더 큰 평균값을 가지는 위의 점이 선택된다. 따라서 이 곡선은 분산이 가장 작은 점을 중심으로 윗부분만 그려지게 된다. 이 그래프에서 나타나는 것과 같이 무계획적인 제품 생산은 최적화된 제품 포트폴리오에 비해 효율이 매우 떨어짐을 알 수 있다. 즉 매우 큰 분산에 비해 평균이 너무 작다. 이는 큰 위험을 안고도 수익은 적게 얻는다는 것을 의미한다. 물질 수치 제약이 있는 경우도 없을 때보다 효율이 떨어짐을 알 수 있다.

투자선택 곡선에서 우리는 trade-off 관계를 관찰할 수 있다. 즉, 큰 수익을 얻고자 하면 마찬가지로 위험이 증대되고 위험을 축소하고자 하면 수익도 작아짐을 알 수 있다.

V. 결론

기존의 제품 생산 최적화 문제는 수요 예측을 통해 재고 비용을 줄일 수 있는 방법이든지 또는 제품을 보다 적은 비용과 시간을 투입해 생산해낼 수 있는 방법 쪽에 초점이 맞추어져 있었다. 하지만 제품을 아무리 최적으로 생산해낸다 하더라도 제품 가격에 따라 기업의 수익성이 크게 변동할 위험에는 여전히 노출되어 있다.

본 연구는 이 문제를 해결하기 위해 화학 제품의 가격이 여러 가지 변수에 의해 변동하고 이런 특성이 주가와 유사하다는 것에서 아이디어를 얻었다. 그래서 현재 분산투자 이론의 기초가 되는 마코위츠 이론을 화학 제품 생산 비용 최적화 문제에 적용시켜 보았다.

투자자들은 항상 높은 수익을 얻고자 하나 동시에 높은 위험도 피하고자 한다. 이러한 바램은 화학 기업들도 마찬가지일 것이다. 화학 산업은 경기 변동형 산업이므로 항상

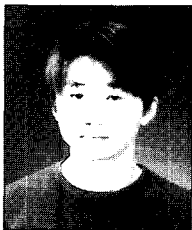
높은 수익을 얻을 수는 없고 위험 관리가 필요하다. 이러한 위험 관리의 하나로 수익의 변동성을 줄이는 동시에 수익을 극대화하는 최적화 모델을 제안하였다. 실제 제품 가격을 가지고 적용해 본 결과 효과가 있음을 알 수 있었다. 하지만 모든 제품을 생산할 수 있는 가상의 상황을 가정하여 문제를 풀었기 때문에 결과의 현실성에는 한계가 있다. 특정 회사나 공정을 선택하여 최적화 문제를 푼다면 그 효과를 실제로 확인할 수 있을 것이다.

또한 본 연구의 결과로 하나의 유용한 의사 결정 도구를 제안할 수 있다. 투자선택 곡선이 그것인데 화학 기업의 경영자들은 이 곡선을 보고 위험 관리와 수익 극대화 두 가지에 대한 통찰을 얻을 수 있다. 기업이 수익의 변동을 충분히 견딜 만큼 튼튼하다면 좀 높은 위험을 감수하더라도 더 높은 수익을 낼 수 있도록 생산 비용을 계획할 수 있고, 반대로 앞으로의 시장 상황이 매우 불확실하여 안정적인 경영이 필요한 시기라면 좀 낮은 수익을 얻더라도 위험을 줄일 수 있는 경영 계획을 세울 수 있다. 기업은 원하는 수준의 위험이나 수익을 정하고 이 곡선 위의 한 점으로부터 최적 생산 비용을 계산하면 된다.

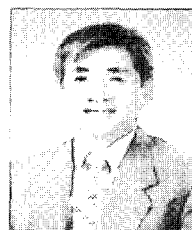
또한 본 연구는 기업의 M&A 시너지 효과를 측정하는데에도 이용될 수 있다. 기업이 M&A를 하는 이유는 기존의 제품 포트폴리오를 더 다양하게 갖추는데 목적이 있기 때문이다. M&A를 통해 거둔 제품의 다각화 효과를 측정한다면 이것이 M&A의 시너지 효과를 정량적으로 평가하는데 도움이 될 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] L. K. C. Chan and J. Karceski, "On portfolio optimization: Forecasting covariances and choosing the risk model," *The review of Financial studies*, vol. 12., no. 5, pp. 937-974, 1999.
- [2] R. Rahgozar and H. Najafi, "Effect of diversification on managing revenue and risk," *College of Business and Economics University of Wisconsin*.
- [3] Z. Bodie, A. Kane, and A. J. Marcus, *Investments*, McGraw-Hill, Korea, 2002.
- [4] H. Markowitz, "Portfolio selection," *Journal of Finance*, March 2002.



박 정 호
2003년 KAIST 생명화학공학과 졸업.
2003년~현재 KAIST 생명화학공학과 석박사 통합 과정에 재학중. 관심분야는 최적화, 제품 생산 및 투자.



박 선 원
1970년 서울대학교 화학공학과(공학사). 1974년 Oklahoma State University 화학공학과(공학석사). 1979년 University of Texas at Austin 화학공학과(공학박사). 1987년 University of Houston-Clear Lake 경영학(MBA). 1988년~현재 한국과학기술원 생명화학공학과 교수. 관심분야는 공정최적화, EIP, SCM, 산업분석, Systems Biology.