Asia-Pacific Journal of Business
Vol.9, No.4, December 2018 (pp.99-117)
https://doi.org/10.32599/apjb.9.4.201812.99.

APJB
ISSN 2233-5900 (Print)
ISSN 2384-3934 (Online)

선형계획법을 이용한 관리회계적 의사결정*

송한식
동아대학교 경영학과 교수

최민철
동아대학교 경영학과 교수

Linear Programming Applications to Managerial Accounting Decision Makings

Han-Sik Song[a], Min-Cheol Choi[b]

[a]Department of Business Administration, DongA University, South Korea
[b]Department of Business Administration, DongA University, South Korea

Received 30 November 2018, Revised 17 December 2018, Accepted 26 December 2018

Abstract

This study has investigated Linear Programming (LP) applications to special decision making problems in managerial accounting with the help of spreadsheet Solver tools. It uses scenario approaches to case examples having three products and three resources in make-and-supply business operations, which is applicable to cases having more variables and constraints. Integer Programmings (IP) are applied in order to model situations when products are better valued in integer values or logical constraints are required. Three cases in one-time-only special order decisions include Goal Programming approach, Knapsack problems with 0/1 selections, and fixed-charge 0/1 integer modelling techniques for set-up operation costs. For the decisions in outsourcing problems, opportunity-costs of resources expressed by shadow-prices are considered to determine their precise contributions. It has also shown that the improvement in work-shop operation for an unprofitable product must overcome its 'reduced cost' by the sum of direct manufacturing cost savings and its shadow-price contributions. This paper has demonstrated how various real situations of special decision problem in managerial accounting can be approached without mistakes by using LP's and IP's, and how students both in accounting and management science can acquire LP skills in their education.

Keywords: Linear Programming, Managerial Accounting, Opportunity Cost, Reduced Cost, Outsourcing, Cost Improvement.
JEL Classifications: C44, C61, M41

* 이 논문은 2018년도 동아대학교 학술연구비 지원에 의한 논문임.
[a] First Author, E-mail: hssong@dau.ac.kr
[b] Corresponding Author, E-mail: choi7872@dau.ac.kr

Ⅰ. 서론

본 연구에서는 제품이 여럿이고 자원이 여럿인 경우, 관리회계 상의 특별한 의사결정 문제를 선형계획법을 이용하여 표현하고 분석하는 과정을 설명하였다. 선형계획법을 이용하면 경영활동 과정에서 발생하는 의사결정 문제를 현실에 맞게 보다 충실하게 표현할 수 있고, 실질적이고 실용적으로 해결할 수 있음을 사례를 바탕으로 설명하였다.

선형계획법(Linear Programming: LP)은 생산계획 수립문제, 제품배합 문제, 원료배합 문제, 수송문제, 네트워크 흐름문제, 투자안 결정 문제, 자본예산 편성 등 다양한 의사결정문제에서 최적의 해를 찾는 경영과학적 기법이다. 선형계획법은 심플렉스 방법(Simplex Method)이라는 최적해법이 잘 개발되어 있고, 사후분석을 위한 민감도분석 이론도 잘 연구 되어있다.

선형계획법의 응용에 관한 연구는 1960년대에 활발히 이루어졌다. 1990년대 중반에 들어서면서 심플렉스 방법이 엑셀에 번들로 공급되면서 연구자뿐만 아니라 일반인도 누구나 자유롭게 쉽게 사용할 수 있게 되었다(Fylstra et. al., 1998). 이러한 기술적인 발전으로 대학교육은 이론중심에서 실용중심으로 바뀌었다(Winston, 1996). 지금은 엑셀뿐만 아니라 구글 시트에서도 'Solver'라는 포함기능 속에 선형계획법, 정수계획법, 비선형계획법, 진화해 찾기 기법(Evolutionary Search) 등 다양한 기법을 제공하고 있다.[1] 선형계획법이 스프레드시트에서 실용화 되면서 경영학 분야의 마케팅, 인사관리, 생산관리, 재무관리, 회계학 등의 분야에서 실질적인 다양한 사례를 경영과학의 교육에서 소개하고 있다(Winston and Albright, 1997, 2018; Ragsdale, 2001; Anderson et. al., 2003).

한편, 1960년대부터 회계학 분야에서의 LP 응용에 대한 연구도 많이 이루어졌는데, 잠재가격(Shadow Price)를 기회비용으로 보고 자원의 가치를 평가하는데 LP를 이용한 연구가 있었으며(Wright, 1968), 자본예산편성에서 할인 현금흐름을 반영하는 연구(Rapparport, 1967), 표준원가와 실제원가의 차이에 대한 분석에 대한 연구(Demski, 1967), 제조간접비의 배분에 대한 연구(Kaplan and Thompson, 1971) 등이 있었다.[2] 이 당시에는 선형계획법의 실제 적용이 용이하지 못하여 이론적인 연구에 치중하였다. 지금은 관리회계의 교과서에서도 선형계획법을 소개하고 있다(Horngren et. al., 2013). 그러나 교과서에서는 변수가 두 개인 경우의 선형계획문제를 그래프로 소개하는 정도에 그치고 있고, 스프레드시트 활용을 직접 다루지 않고 있는데, 그 이유는 아마도 교과서 분량제한 때문이 아닌가 생각된다. 하지만 실제 경영활동 상에서 의사결정 문제는 고려해야할 변수가 매우 다양하며 이러한 의사결정 문제를 스프레드시트로 표현하고 선형계획법을 적용할 수 있다면 최적의 의사결정대안을 매우 효과적으로 도출해 낼 수 있다. 따라서 관리회계 교과서에서도 선형계획법 및 스프레드시트의 활용에 대한 내용을 더욱 확대할 필요가 있고, 또한 다양한 사례문제를 개발할 필요가 있다. 본 연구에서 이를 다루어보고자 한다.

이러한 이유로 회계학 분야에서는 선형계획법 및 스프레드시트 활용의 유용성과 필요성을 강조하는 연구가 계속되어 왔다. Togo (2005)는 원가정보를 운영관리의 의사결정에 제공하여 최적의 제품배합 의사결정을 한 후 그 정보를 다시 피드백을 받아서 손익계산서 등에 활용할 수 있음을 지적하고 학생들의 교육에도 LP를 활용함으로써 관련비용, 공헌이익, 변동비와 고정비의 개념 이해에 매우 효과적임을

1) Frontline Systems Inc. (http://www.solver.com) 에서 제공한 마이크로소프트 오피스의 엑셀에 번들로 공급된 Solver에서는 500개 정도의 변수를 처리할 수 있다. 구글시트에서는 변수의 제한을 받지 않는다.

2) 김순기 (1985)는 선형계획법이 회계학에 미친 공헌에 대하여 광범위하게 문헌연구를 하였다("선형계획법이 회계학에 미친 공헌," 시장경제연구, 9(0), 51-63, 서강대학교 발행.)

설명하고 있다. Amile (2009)도 엑셀 스프레드 시트의 Solver(해찾기) 패키지를 이용하여 최적의 생산계획을 가상의 사례문제에서 LP 적용을 예시하였다. 한편 Bradbard (2014)의 연구에서 회계 실무자들의 스프레드시트의 활용에 대한 전반적인 조사를 한 것을 보면, 연산 계산에 활용도가 4.71인 반면, 선형계획은 1.44로서 히스토그램(1.60), 기술통계(1.71) 보다도 아래에 있는데 이는 거의 사용하지 않음을 보여주었다.[3] 그렇지만, 실질적인 사례의 의사결정에서 스프레드시트 모형화를 교육한다면 선형계획법과 사후분석의 활용이 더욱 활성화 될 것으로 생각된다.

한편, 자원제약 하에서 운영관리적인 의사결정에 제약이론(Theory of Constraints)의 활용이 꾸준히 연구되어 왔다. Cowton (1996)은 한계요소 자원이 있는 경우 한계요소 규칙(LFR: Limiting Factor Rule)을 적용하여 최적생산계획을 수립하는 것을 연구하였다. 한계자원이 여럿인 경우에는 선형계획법을 사용여야 하며, LFR을 사용하는 것은 매우 제한적이고, 잘못된 결과를 낳을 수 있다는 것을 주의시켜야 한다고 적고 있다. 한편 또 다른 유사한 연구가 있는데, 그것은 제약이론을 관리회계의 의사결정에 적용하는 것을 선형계획법과 비교하는 연구(김선민ㆍ박광훈, 1997)와, 제품배합의 결정에 제약이론과 정수선형계획법을 비교한 연구가 있었다(Park Jun-Wan, 2010; Thai and Chains (2007); Souren (2005)). 이에 대해서는 본 연구의 본문에서 언급하고자 한다.

제약이론을 이용한 의사결정의 연구에도 불구하고, 관리회계적인 의사결정 상황이 선형계획법의 가정(분할성, 비례성, 가산성)을 만족한다면 선형계획법을 통해서 최적의 대안을 도출할 수 있다. 본 연구에서는 선형계획을 이용한 의사결정 가운데 (i) 일회성 주문에 대한 의사결정, (ii) 자원의 활용과 외주가공의 의사결정 및 분석, (iii) 원가개선을 통한 제품의 이익 공헌도 개선 등 3가지에 대해서 선형계획법을 이용한 의사결정 분석을 연구하였다. (i)과 (ii)는 원가회계 교과서의 내용을 제품이 여럿이고 연관 자원이 여럿인 경우로 확장한 것이며, 선형계획법이나 정수계획법을 활용하면 실제 현실의 다양한 의사결정 문제를 보다 효과적으로 표현하고 최적의 대안을 찾을 수 있음을 보였다. 이들의 분석에는 선형계획법의 민감도 분석에서 도출된 한계비용과 잠재가격이 사용되었다.

II 장에서는 관리회계에서의 선형계획법 모형을 소개하고 선형계획법의 가정을 설명하였으며, 사례문제의 소개와 민감도분석에 대한 설명을 하였다. III 장부터는 사례를 통하여 자원이 여럿이고 제품이 여럿인 경우의 의사결정을 몇 가지 시나리오로 나누어서 선형계획법을 통한 의사결정이 효과적임을 보였다.

Ⅱ. 선형계획법 수리모형 소개와 연구방법

1. 선형계획법 수리모형

선형계획법을 회계학 분야에 적용한Wright (1968)의 연구는 기업이 보유한 자원을 평가하는데 이용하였다. 본 연구에서는 Wright 표현에 첨자를 변형하고 한계값 조건을 추가한 다음과 같은 모형을 가지고 논의를 전개하였다.

선형계획법의 수리모형 (모형 1)

$$\text{Max. } Z = \sum_{j=1}^{n} x_j (p_j - \sum_{i=1}^{m} a_{ij} c_i) \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \le H_i\ , \ \ i = 1, 2, \cdots, m \quad (2)$$

$$l_j \le x_j \le q_j\ , \ \ j = 1, 2, \cdots, n \quad (3)$$

3) 리커트 5점 척도 1-never, 2-not regularly, 3-at least once a week, 4-several times a week, 5-on a daily basis 로 조사한 것임.

Z: 목적값, 총이익(Total Contribution Margin)
x_j: 제품 j의 수량 변수
p_j: 제품 j의 가격
c_i: 자원 i의 한 단위 비용(cost)
a_{ij}: 제품 j를 한 단위 생산하는데 소요되는 자원 i의 용역량
$(p_j - \sum_{i=1}^{m} a_{ij}c_i)$: 제품 j 단위당 공헌이익
q_j: 제품 j의 최대 판매 수량(수요량)
l_j: 제품 j의 최소 수량
H_i: 자원 i의 사용가능한 용역량 (능력, capacity), 우변 상수값
m: 활용하는 자원 수; n: 제품의 종류

위의 모형의 식 (1)은 목적식이고, (2)는 제한 조건식, (3)은 변수의 상하한의 한계값 조건을 뜻한다. 위의 모형에서 'x_i = 정수'라는 정수조건을 추가하면 '정수계획법 IP모형'이 된다.

선형계획법의 모형화는 세 가지 가정을 가지고 있다. 첫째, 변수(제품 수량) x_j가 분할된 값을 가질 수 있다는 분할성 가정(Divisibility)이다. 이 가정은 제품의 생산수량이 정수값이 아닌 실수값을 가질 수 있다는 가정으로 제품이 연속적인 양으로 표현된다는 가정이다. 실수값으로 해를 정한 후 그것을 정수값으로 변환하여 사용해도 지장이 없다는 가정이다. 그러나 자동차 대수처럼 정수값으로 변환하여 정하는 것이 현실에 맞지 않을 때에는 정수선형계획법을 사용하여야 한다.

두 번째 가정은 비례성의 가정(Proportionality)이다. LP모형의 조건식이나 목적식에 제품의 변수 x_j가 미치는 효과는 x_j의 양에 비례한다는 가정이다. 비례성의 가정은 제품수량이 많아짐에 따라서 작업소요시간이 학습효과에 의해서 줄어드는 비선형적인 효과를 반영하지 못하며, 제품 판매에서 수량이 많아짐에 따른 가격할인 같은 것을 반영하지 못한다.

세 번째 가정은 가산성의 가정(Additivity)인데, 이는 조건식이나 목적식에 제품 수량이 미치는 효과가 독립적이며 서로 더해질 수 있다는 가정이다. 이는 두 개 이상의 변수가 함께 효과를 미치는 것이 없다고 가정하는 것이다. 예를 들면, 생산공정에서 작업하는 제품을 바꿀 때 생기는 셋업시간(공정준비시간) 발생을 반영하지 못한다. 가산성 가정이 만족되지 않을 때에는 논리적 0/1 정수 변수를 도입하여 정수계획법으로 모형화하여 풀 수 있다.

세 가지 가정은 관리회계 의사결정에서 빈번히 만나는 것이다. 현실의 문제를 수리모형으로 표현하는 데는 선형계획의 가정처럼 현실을 가정하기도 하고 생략하기도 하지만, 되도록이면 현실을 충실히 표현하여 한다. 여기서는 의사결정 상황이 선형계획법의 가정을 충족하는 것으로 가정하여 분석하였고, 필요하면 정수계획법으로 모형화하여 현실에 대한 충실도를 높이려고 애썼다.

스프레드시트에서 LP의 모형화와 해찾기가 일반화되기 전에는 CPLEX나 LINDO와 같은 LP 패키지를 사용하였다. 이러한 패키지에서 민감도분석 결과의 사용에 대해서는 Jansen et. al (1997)이 상세히 연구하였다. 그러나 최근에는 선형계획법의 모형화와 최적해 찾기는 구글이나 엑셀의 스프레드시트의 포함기능(Add-in)인 Solver (해찾기)로서 쉽게 해결되고, 사후분석을 해주는 민감도 보고서(Sensitivity Analysis)도 잘 개발되어 있다. 여기서는 민감도분석에 대한 자세한 언급은 생략하고 필요에 따라서 설명을 추가하였다.

정수 조건이 추가된 경우도 스프레드시트에서 우수한 해를 쉽게 구할 수 있다. 한편 정수조건이 추가된 경우는 민감도 분석은 Jensen (1968)의 연구에서 보듯이 꽤 까다롭고, 스프레드시트 해찾기 기능에서는 아예 제공하지 않고 있다. 그렇지만, 스프레드시트의 해찾기 기능을 쉽게 반복해서 적용할 수 있기 때문에, 민

감도 분석의 상황에서 해찾기를 반복해서 해를 서로 비교하는 방법으로 해결할 수 있다. 이에 대한 설명은 다음 절의 사례문제를 가지고 한다.

2. 연구방법 - 사례와 시나리오 방법

1) 사례문제를 통한 시나리오 방법

자원 제약하에 제품생산에 관한 의사결정을 분석하고 상호비교 하는데 박준완(2010)은 Souren (2005)의 예제를 가지고 서술하였는데, 난수를 발생시켜서 문제구성의 투입값(Input Data)을 변화시켜서 여러 문제를 풀고 그 결과를 비교하는 방법을 사용하였다. 김선민·박광훈(1997)은 사례 문제를 상정하고 거기에 의사결정의 시나리오를 전개하면 제약이론과 선형계획법을 비교하였다. 본 연구에서도 이러한 연구 방법을 모방하여 가상의 사례를 가지고 여러가지 시나리오를 전개하며 선형계획법에 의한 최적화된 의사결정을 찾고 그 결과를 분석하고자 한다.

2) 사례문제 소개

아래의 예는 Winston (2004)의 Dakota 가구회사의 예제 문제를 관리회계의 용어에 맞게 변형한 것이다. Dakota는 판재를 절단하고 목공작업을 거쳐서 책상과 탁자 및 의자를 제조하여 판매하고 있다. 이들 자원의 월단위의 가용량은 각각 판재 480m^2, 절단작업 200시간, 목공작업 80시간이다. 변동비로서 직접재료비인 판재비용, 제조 간접비로서 절단작업 비용, 직접 노무비로서 목공작업 비용이 발생하고 있다. 절단공정의 제조 간접비(Manufacturing Overhead)는 사용시간에 따라 배분되어 반영된 것으로 가정하여 사실상 직접 제조변동비로 가정 한다. 한편, 고정비는 의사결정에서 제외하였다. 〈Fig. 1〉은 Dakota 문제를 엑셀로 표현한 것이다.

〈Fig. 1〉 엑셀의 데이터를 앞의 'LP모형'에 대응하면 다음과 같다. 행과 열은 스프레드시트에 맞도록 일관성 있게 표기하였다. i는 판재, 절단, 목공을 나타내는 행 첨자로서 제한조건에 대응하고, j는 책상, 탁자, 의자를 나타내는 열 첨자 변수에 대응한 것이다(판재는 m^2, 작업은 시간단위이지만 단위표기는 이 후 생략하였다.)

판매 가격: $p_j = (\,92,\,52,\,28\,)$ 만원;

공헌이익: $(60, 30, 20)$ 만원

단위당 직접비용: $c_i = \begin{pmatrix} 2 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix}$ 만원

제품 한 개당 소요자원:

$$a_{ij} = \begin{pmatrix} 8 & 6 & 1 \\ 4 & 2 & 1.5 \\ 2 & 1.5 & .5 \end{pmatrix}$$

자원 보유량: $H_i = \begin{pmatrix} 480 \\ 200 \\ 80 \end{pmatrix}$

수요량 제한: q_j는 정해져 있지 않음.

제품 1 책상의 제조변동비는

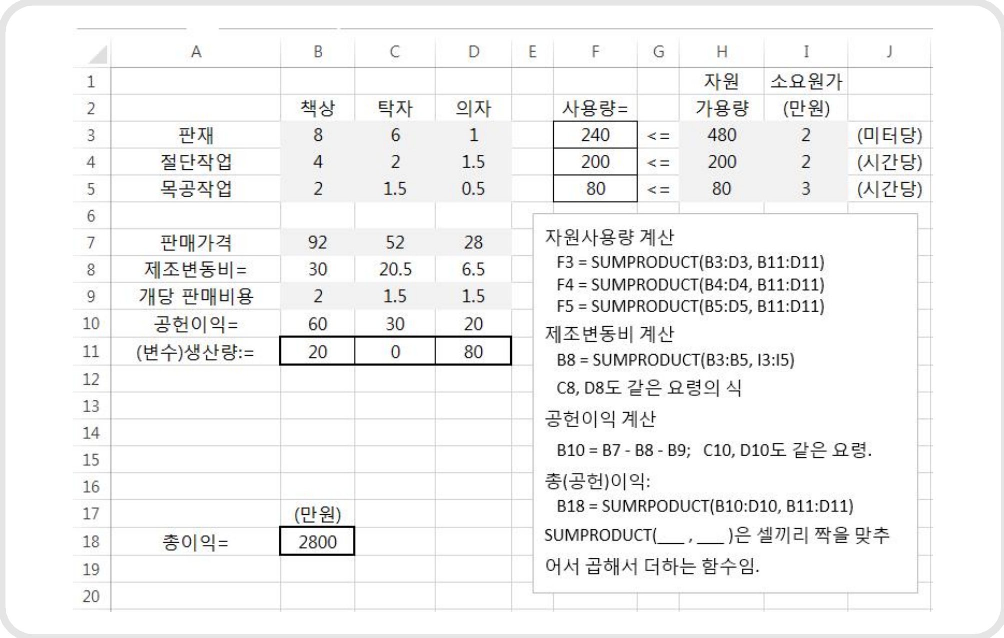
$$a_{i1} \times c_i = \begin{pmatrix} 8 \\ 4 \\ 2 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 2 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix} \text{으로}$$

짝을 맞추어서 곱해서 더함.

〈Fig. 1〉의 시트에서 책상의 판매가격은 92만 원이고, 책상의 제조변동비는 B3: B5와 I3:I5를 서로 곱하여 더한 값으로 (8, 4, 2)×(2, 2, 3) = 30만 원이다. Dakota 'LP모형'에는 없지만, 제품의 직접 마케팅 비용으로서 제품별로 '단위당 판매비용'이 (2, 1.5, 1.5) 만 원씩 발생하는 것으로 가정하였다. 책상은 판매가격 92만원에서 제조비용과 판매비용의 합계 32만원을 빼면 공헌이익은 60만원이 된다. 제품의 수요량 한계는 없는 것으로 가정하였다.

생산량에 (B11:D11) = (20, 0, 80)개를 입력하면, 그 때 사용한 자원의 양은 (F4:F6) = (240, 200, 80) 단위이며, 생산량과 공헌이익을 곱해서 더한 총이익은 B18 = 2800만 원임을 보여주고 있다.

Fig. 1. Spreadsheet Modeling for Dakota Case Example



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1								자원	소요원가	
2		책상	탁자	의자		사용량=		가용량	(만원)	
3	판재	8	6	1		240	<=	480	2	(미터당)
4	절단작업	4	2	1.5		200	<=	200	2	(시간당)
5	목공작업	2	1.5	0.5		80	<=	80	3	(시간당)
6										
7	판매가격	92	52	28						
8	제조변동비=	30	20.5	6.5						
9	개당 판매비용	2	1.5	1.5						
10	공헌이익=	60	30	20						
11	(변수)생산량:=	20	0	80						
12										
13										
14										
15										
16										
17		(만원)								
18	총이익=	2800								
19										
20										

자원사용량 계산
F3 = SUMPRODUCT(B3:D3, B11:D11)
F4 = SUMPRODUCT(B4:D4, B11:D11)
F5 = SUMPRODUCT(B5:D5, B11:D11)
제조변동비 계산
B8 = SUMPRODUCT(B3:B5, I3:I5)
C8, D8도 같은 요령의 식
공헌이익 계산
B10 = B7 - B8 - B9; C10, D10도 같은 요령.
총(공헌)이익:
B18 = SUMRPODUCT(B10:D10, B11:D11)
SUMPRODUCT(___, ___)은 셀끼리 짝을 맞추어서 곱해서 더하는 함수임.

〈Fig. 1〉의 스프레드시트 모형에 앞의 선형계획 (모형 1)을 표현하면 〈Table 1〉과 같다. 이것을 엑셀의 'Solver(해찾기)' 도구에 표현하면 〈Fig. 2〉와 같다.

변수가 0보다 커야 한다는 비음조건(Non-negativity)은 〈Fig. 2〉의 Solver Parameter 창에서 체크하도록 되어 있고, '해찾기(S)'를 클릭하여 실행하면 최적해를 구할 수 있다. 이후 Solver Parameter 창의 설정을 간단히 '해찾기 모형설정'이라고 부르기로 한다.

Table 1. Summary of Solver Parameters

목표셀(최대화): B18
변수셀: B11:D11
제한조건: F3:F5 $\leq$ H3:H5

〈Fig. 1〉은 엑셀 시트를 설명하기 위해 소개한 것이지만, '해찾기'를 적용한 후의 '최적해'를 구한 후의 시트이기도 하다. 책상을 20개, 탁자를 0개, 의자를 80개 만들고 그 때 총이익(영업이익)은 2800만원이다. 한편, 선형계획법은 '분할성 가정'을 하고 있으므로 이들 최적해의 생산량은 소수점 값(실수값)을 가질 수 있다. 여기서는 운 좋게 모두 정수값을 가졌다.

〈Fig. 3〉은 사례문제의 최적해에서 구한 민감도보고서(Sensitivity Analysis Report)이다. 변수셀 C11의 탁자에 대한 '한계비용'(Reduced Cost, 수정비용)은 -5로 표시되어 있는데, 만일 탁자를 x개 생산하는 것을 포함하는 최선의 해를 구한다면, 총이익은 지금보다 $5x$만원 줄어든다는 것을 의미한다. 여기서 x는 한계비용이 그대로 유효하게 적용될 수 있는 지나치게 큰 값이 아닌 값이다.[4]

4) 한계비용은 Reduced Cost를 번역한 말인데, 수정비용이란 말도 쓰기 때문에 병행하여 표기였다.

Fig. 2. Solver Parameters for <Fig. 1> Spreadsheet Modeling

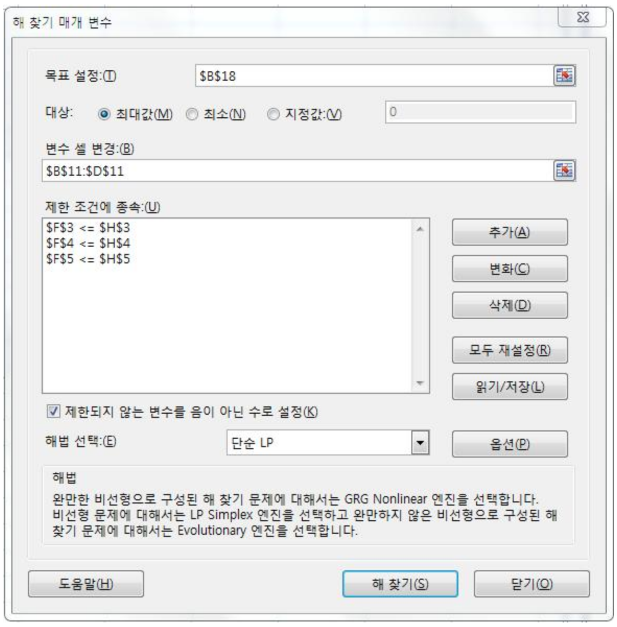


Fig. 3. Sensitivity Analysis Report

변수 셀

셀	이름	계산 값	한계 비용	목표 셀 계수	허용 가능 증가치	허용 가능 감소치
B11	(변수)생산량:= 책상	20	0	60	20	4
C11	(변수)생산량:= 탁자	0	-5	30	5	1E+30
D11	(변수)생산량:= 의자	80	0	20	2.5	5

제한 조건

셀	이름	계산 값	잠재 가격	제한 조건 우변	허용 가능 증가치	허용 가능 감소치
F3	판재 사용량=	240	0	480	1E+30	240
F4	절단작업 사용량=	200	10	200	40	40
F5	목공작업 사용량=	80	10	80	20	13.333

〈Fig. 3〉에서 '제한조건' 민감도보고서의 '잠재가격'(Shadow Price)은 제한조건 우변(여기서는 자원의 가용량)의 단위 증가에 따른 목적식(여기서는 총이익)의 변화량을 나타낸다. 따라서 본 사례문제에서 잠재가격은 해당 자원의 단위당 가치평가(공헌이익, 기회비용)이다. 절

단작업 공정의 잠재가격은 10만원인데, 이는 절단공정의 자원이 현재 200보다 y시간 더 증가한다면 총이익은 $10y$만 원 더 증가함을 뜻한다. 이는 절단공정 자원의 공헌이익이다. 반대로, 절단작업 가용시간을 y시간 줄인다면 총이익이 $10y$만원 감소함을 의미한다. 이는 절단공정 자원의 기회비용을 의마한다. 여기서도 y는 허용가능 증가치와 허용가능 감소치의 범위 안의 값이다.

잠재가격은 '제한조건 우변'의 변동 범위 안에서 적용된다. 자원의 가용량(제한조건 우변값, (모형 1)의 H_i)이 '허용가능 증가치'와 '허용가능 감소치' 범위 안에서 변할 경우 자원의 잠재가격은 그대로 유효하게 적용됨을 뜻한다. 만일 두 개 이상의 자원이 동시에 변한다면, 허용가능 변동범위를 100%로 볼 때 그 변동량을 %로 평가해서 그것을 다 합한 것이 100% 한도 안에 있으면 잠재가격을 안전하게 적용하여 분석할 수 있다는 뜻이다. 이것을 '100% Rule'이라고 하는데, 이는 유용하게 활용 된다.

Ⅲ. 선형계획법과 민감도 분석을 통한 관리회계 의사결정

1. 일회성 특별주문의 의사결정

특별주문을 비롯하여 외주가공 및 Make-or-Buy 문제를 이충섭 (2011)은 특별 의사결정문제로 설명하고 있고, Horngren et. al. (2013)은 의사결정의 관련 정보라는 주제로 다루고 있다. 이러한 내용에 대해서 본 논문에서는 선형계획법을 활용하여 특별주문, 외주자원의 활용, 그리고 제품의 원가개선을 중점적으로 살펴보고자 한다.

특별주문은 보통의 영업과 별도로 정상가격보다 낮은 가격으로 제안 받는 경우를 말한다. 보통은 특별주문 전량을 가지고 수락/거절을 결정한다. 기존 영업에 의한 생산계획에 영향을 주지 않는 유휴자원을 활용할 때에는 관련수익이 관련원가보다 크면 수락한다. 수락하지 않을 때와 수락할 때의 차이를 분석하는 '증분접근법'으로 분석하는 셈이다. 여기서는 비교대안 상호간에 차이가 나지 않는 고정비는 비연관비용(Irrelevant Costs)로 간주하고 의사결정의 고려에서 제외한다. 제품이 여럿이고 자원이 여럿인 경우는 비교대안이 많기 때문에 '총액접근법'을 사용한다. 이는 목적값을 중심으로 의사결정을 찾는 것이다.

김선민과 박광훈 (1997)의 연구나 Thai and Chains (2007)의 연구처럼, 자원제약하의 특별주문에 대한 의사결정은 각 대안을 비교하는 '제약이론'으로 접근할 수 있을 것이다. 그러나 여기서 분석하는 것처럼 특별주문의 여러 가지 상황이 선형계획법의 가정을 만족한다면 선형계획법으로 표현하고 최적해를 구하여야 한다. 선형계획법의 모형화가 가능하다면 제약이론의 해가 선형계획법이나 정수계획법의 해 보다 우수한 해를 구할 수 없기 때문이다.

제품별로 선택적으로 수락할 수 있다면 여러 가지 대안이 선택적으로 생기는데, 정수계획법의 도움을 받아야 한다. 특히, 특별주문에 대응하여 생산라인을 별도로 셋업(Setup)하는 비용이 든다면 정수계획법의 0/1 변수를 활용해야 한다. 여기서는 기존 영업의 생산계획량을 유지해야하는 경우와 생산계획량을 줄일 수 있는 경우 두 가지로 나누고, 특별 주문량을 전부 수락하는 경우와 일부를 수락할 수 있는 경우로 나누어서 살펴보았다.

1) 기존 생산량을 유지하고, 특별주문량 일부를 수락할 수 있는 경우

앞의 Dakota 가구의 사례문제에서는 수요량에 특별한 제한이 없는 경우의 최적해를 구하여 보았다. 여기서는 고정된 거래처에 가구를 생산하여 공급하는 기존의 비즈니스에서 대하여 다음과 같은 시나리오의 특별 주문이 있는

경우의 의사결정을 살펴보자.

> 시나리오 1. 책상, 탁자, 의자를 매월 각각 10개, 5개, 60개씩 생산하여 소매점에 공급하여 영업이익을 1950만 원 올리고 있다. 이렇게 생산하고도 각 자원에는 여유분이 있다. 만일 책상, 탁자, 의자의 특별주문이 각각 10개씩 있다면 어느 제품에 몇 개씩 응하는 것이 좋은가? 특별주문에는 판매비용이 들지 않으며, 특별주문 가격은 현재보다 싼 60, 50, 20만원이다.

수요량의 제한이 각각 10, 5, 60개이다. 이 시나리오는 (모형 1)에서 수요량 제한 $q_j = (10, 5, 60)$을 가지고 아래 (모형 2)를 먼저 풀어서 해를 구한다. 그때의 최적해는 (10, 5, 60)이고, 영업이익은 1950만 원이다. 이 해를 조건으로 부과하고 다음의 (모형 3)를 푸는 것이다. 특별주문의 수요량의 제한이 각각 10, 10, 10개인 셈이다.

시나리오 1 비즈니스의 LP모형 (모형 2)

$$\text{Max. } Z = \sum_{j=1}^{3} x_j (p_j - t_j - \sum_{i=1}^{3} a_{ij} c_i) \tag{4}$$

subject to

$$\sum_{j=1}^{3} a_{ij} x_j \le H_i \ , \ \ i = 1, 2, 3 \tag{5}$$

$$0 \le x_j \le q_j \ , \ \ j = 1, 2, 3 \tag{6}$$

t_j: 판매비용, $q_j = (10, 5, 60)$

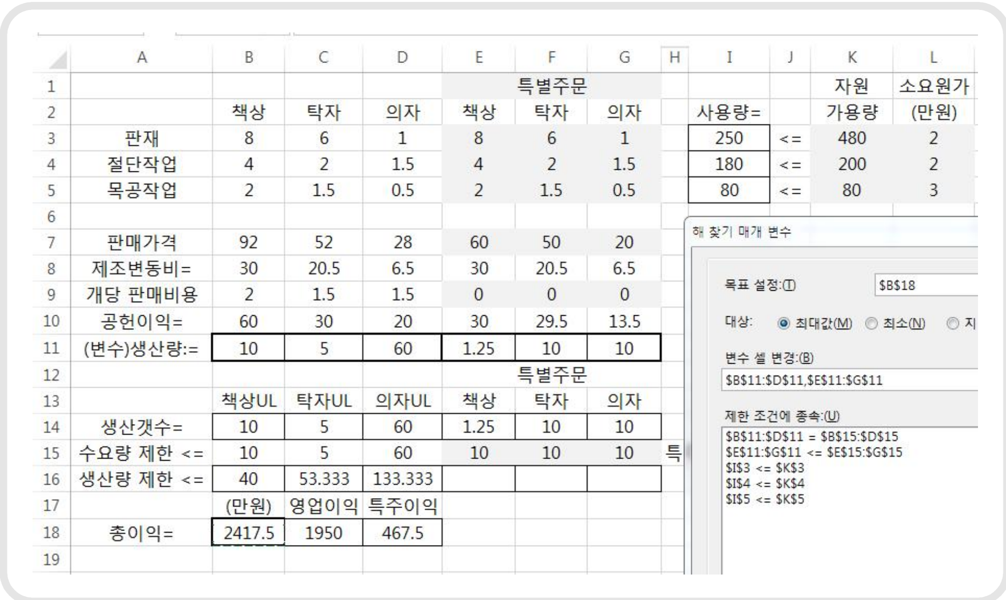
나머지는 (모형 1)과 같음.

시나리오 1의 특별주문 LP모형 (모형 3)

$$\text{Max. } Z = \sum_{j=1}^{3} x_j (p_j - t_j - \sum_{i=1}^{3} a_{ij} c_i) + \sum_{j=1}^{3} y_j (r_j - \sum_{i=1}^{3} a_{ij} c_i) \tag{7}$$

subject to

Fig. 4. Spreadsheet Modeling for A Special Order Under Current Operations



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1						특별주문					자원	소요원가
2		책상	탁자	의자	책상	탁자	의자		사용량=		가용량	(만원)
3	판재	8	6	1	8	6	1		250	<=	480	2
4	절단작업	4	2	1.5	4	2	1.5		180	<=	200	2
5	목공작업	2	1.5	0.5	2	1.5	0.5		80	<=	80	3
6												
7	판매가격	92	52	28	60	50	20					
8	제조변동비=	30	20.5	6.5	30	20.5	6.5					
9	개당 판매비용	2	1.5	1.5	0	0	0					
10	공헌이익=	60	30	20	30	29.5	13.5					
11	(변수)생산량:=	10	5	60	1.25	10	10					
12						특별주문						
13		책상UL	탁자UL	의자UL	책상	탁자	의자					
14	생산갯수=	10	5	60	1.25	10	10					
15	수요량 제한 <=	10	5	60	10	10	10	특				
16	생산량 제한 <=	40	53.333	133.333								
17		(만원)	영업이익	특주이익								
18	총이익=	2417.5	1950	467.5								
19												

$$\sum_{j=1}^{3} a_{ij}(x_j + y_j) \le H_i \ , \ i = 1, 2, 3 \tag{8}$$

$x_j = x_j^*$, x_j^*는 (모형 2)의 최적해 (9)

$y_j \le S_j$, y_j: 특별주문 생산량 (10)

t_j: 판매비용; r_j: 특별 주문품의 가격

S_j: 특별 주문량 한도 (10, 10, 10)

나머지는 (모형 1)과 같음.

〈Fig. 4〉는 (모형 3)을 푼 것이다. (모형 2)에서 구한 해 x_j^* =(10, 5, 60)를 제한조건으로 부과하고 (B11:D11 = B15: D15), 특별주문 생산량 y_j = (E11: G11)의 최적해를 구하는 것이다. (모형 3)의 해찾기의 결과를 보면, (1.25, 10, 10) 만큼 특별주문에 응한다. 기존의 영업이익 1950만원과 특별주문의 이익 467.5만 원을 합하여 총이익은 2417.5만 원이다. 이것은 선형계획 모형의 최적해이다. 그러므로 총이익을 이보다 더 크게 해주는 해는 없다.

한편 특별 주문에 응하는 책상 수량이 정수가 아니므로, 변수 E11:G11을 정수로 제한하는 조건을 부과하는 정수계획 모형의 문제를 한번 더 풀어보면, 특별 주문에 (2, 9, 10)개씩 응하는 해를 찾을 수 있었다. 이 해는 앞의 실수해를 반올림하거나 적절히 변경해서 얻을 수 있는 해가 아니다. 특별주문 이익은 460.5만원이고 총이익은 2410.5만원이 된다. 실수해보다 7.0만 원 줄어들었다.

책상은 목공작업 가용 시간이 한계자원(Limiting Factor Resource)이므로 생산량 한계는 80/2 = 40개, 탁자도 목공작업이 한계자원이므로 80/1.5 = 53.333개, 의자는 절단작업 시간이 한계자원이므로 200/1.5 = 133.33이다. 이것을 B16:D16에 표시하였지만 해찾기 설정에서는 제한조건으로 사용하지는 않았다. 스프레드시트 14번 행의 생산갯수는 11번 행의 생산량을 그대로 옮겨 적은 것으로 제한 조건으로 사용하지 않았다.

시나리오 1에서는 기존 영업의 최적 생산계획량을 만족하는 것이 1차 목표이고, 특별주문에 대한 최선의 해를 찾는 것이 2차 목표이다. 이는 절대 우위 목표계획법(Preemptive Goal Programming)을 적용한 것이다. 기존 영업의 최적 생산계획을 미달하는 변동분에 대한 가중치를 영업손실로 평가해서 매길 수 있으면 상대우위 목표계획법(Non-preemptive Goal Programming)을 적용하여 해를 구할 수 있다 (Winston, 2004, 4.16절 참조).

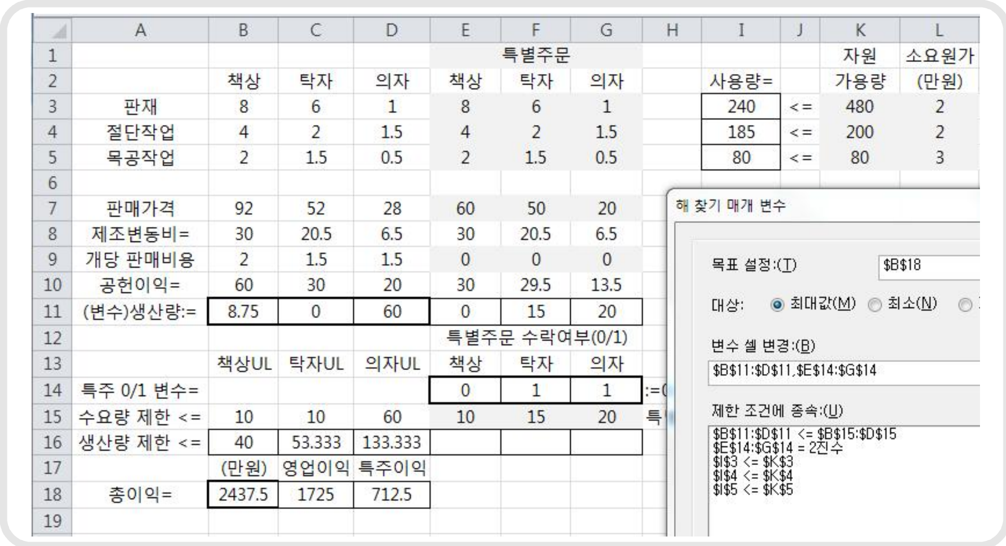
2) 기존생산량의 변경을 허용하면서 특별주문에 선택적으로 응하기

앞에서는 특별주문량 한도 안에서 그 양을 정해서 응할 수 있는 것으로 가정하였는데, 여기서는 특별 주문량 전량을 수락하되 제품은 선택적으로 할 수 있는 경우를 가정하였다. 편의상 기존 거래처에 공급하는 량은 10, 10, 60개인 것으로 가정하였다.

> 시나리오 2. 책상, 탁자, 의자를 매월 각각 10개, 10개, 60개를 생산하여 소매점에 공급하고 총이익은 월 2100만 원이다. 만일 책상, 탁자, 의자를 각각 (60, 50, 20)만 원의 가격에 특별 주문하는 요청이 각각 10, 15, 20개씩 있다면 어느 제품의 특별주문을 선택해서 응하는 것이 좋은가? 특별주문이므로 별도의 판매비용은 발생하지 않는다.

이 사나리오는 특별주문에 응하면 그 제품의 주문량 전부를 공급해야하는 것을 가정하였다. 기존영업은 최적 생산계획을 가지고 있지만, 이 해를 변경할 수 있는 것으로 가정하였다. 최적생산계획과 특별주문 선택을 동시에 결정해야 하는 셈이다. 특별주문에 선택적으로 응하는 것은 앞의 'LP모형'에 0/1 변수 u_j를 도입하는 정수계획법으로 표현할 수 있다. 아래 모형

Fig. 5. Spreadsheet Modeling for Selective Decisions to A Special Order



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1						특별주문					자원	소요원가
2		책상	탁자	의자	책상	탁자	의자		사용량=		가용량	(만원)
3	판재	8	6	1	8	6	1		240	<=	480	2
4	절단작업	4	2	1.5	4	2	1.5		185	<=	200	2
5	목공작업	2	1.5	0.5	2	1.5	0.5		80	<=	80	3
6												
7	판매가격	92	52	28	60	50	20					
8	제조변동비=	30	20.5	6.5	30	20.5	6.5					
9	개당 판매비용	2	1.5	1.5	0	0	0					
10	공헌이익=	60	30	20	30	29.5	13.5					
11	(변수)생산량:=	8.75	0	60	0	15	20					
12					특별주문 수락여부(0/1)							
13		책상UL	탁자UL	의자UL	책상	탁자	의자					
14	특주 0/1 변수=				0	1	1	:=				
15	수요량 제한 <=	10	10	60	10	15	20	특				
16	생산량 제한 <=	40	53.333	133.333								
17		(만원)	영업이익	특주이익								
18	총이익=	2437.5	1725	712.5								
19												

에서 u_j는 j 제품의 특별주문에 응하면 1, 아니면 0인 이진수 변수이다. 특별주문에 제품별로 수락/거절을 정하는 것은 정수계획법의 0/1 배낭 채우기 문제(Knapsack Problem) 모형과 같다(Winston, 2004, 9.5절 참조).

특별주문의 0/1 정수계획법 (모형 4)

$$\text{Max.}\ Z = \sum_{j=1}^{3} x_j (p_j - t_j - \sum_{i=1}^{3} a_{ij} c_i) + \sum_{j=1}^{3} u_j S_j (r_j - \sum_{i=1}^{3} a_{ij} c_i) \qquad (11)$$

subject to

$$\sum_{j=1}^{3} a_{ij} (x_j + u_j S_j) \le H_i, i = 1, 2, 3 \qquad (12)$$

$$0 \le x_j \le q_j\ ,\ j = 1, 2, 3 \qquad (13)$$

$u_j = 0 \text{ or } 1$: 특별주문 제품 j 선택여부

t_j: 판매비용

r_j: 특별 주문품의 가격

S_j: 특별 주문량 (10, 15, 20)

나머지는 (모형 1)과 같음.

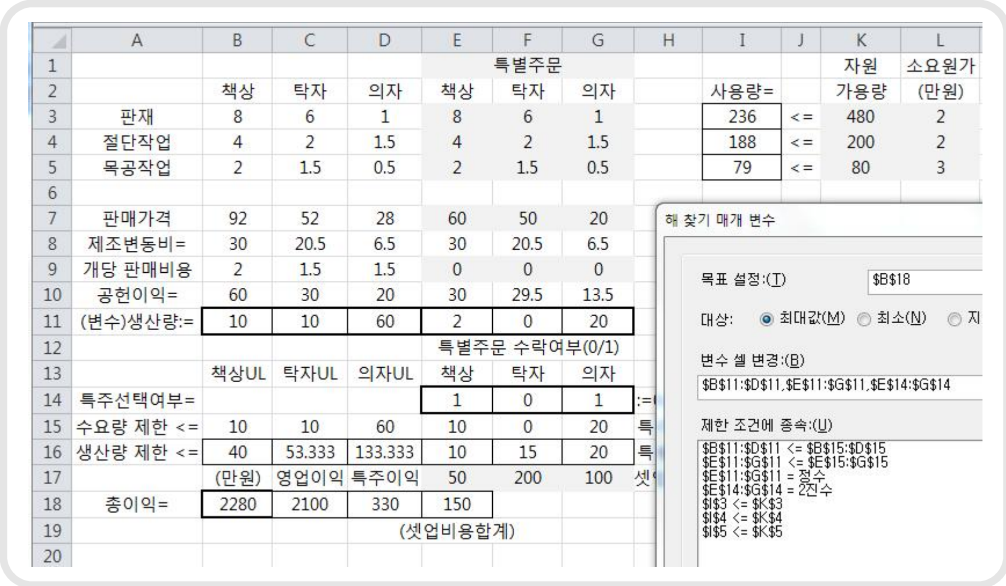
〈Fig. 5〉는 위 수리모형을 엑셀로 표현한 것이다. E14:G14은 특별주문의 제품 j 선택여부 $u_j = 0 \text{ or } 1$ 이다. E15:G15는 특별 주문량의 한도 S_j= (10, 15, 20)이다. $u_j\ S_j$ = (E11:G11)이다.

〈Fig.5〉는 (모형 4)의 최적해를 구한 것이다. 기존의 생산계획 (10, 10, 60)은 (8.75, 0, 60) 으로 많이 달라졌다. 15개, 20개씩 탁자와 의자의 특별주문에 응한다. 영업이익은 2100만원에서 1725만원으로 감소하였지만, 특별주문 이익이 712.5만원 생기고, 총이익은 2437.5만원으로 증가하였다. 그러나 이러한 결정은 가격인하를 요구하거나, 공급처를 잃어버릴 수 있는 위험이 있어서 기존의 영업을 지속하는데 지장으로 초래할 수 있다는 것을 고려하여야 한다.

3) 특별주문에 셋업비용이 발생하는 경우

특별주문이 생산라인 일부를 조정해야 하기 때문에 셋업비용이 드는 경우가 있다. 제품 디자인을 변경하는 등 변형을 가하여 값을 싸게 하는 경우이다. 셋업비용은 한 개라도 생산하

Fig. 6. Spreadsheet Modeling For Special Order With Setup Cost



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1						특별주문					자원	소요원가
2		책상	탁자	의자	책상	탁자	의자		사용량=		가용량	(만원)
3	판재	8	6	1	8	6	1		236	<=	480	2
4	절단작업	4	2	1.5	4	2	1.5		188	<=	200	2
5	목공작업	2	1.5	0.5	2	1.5	0.5		79	<=	80	3
6												
7	판매가격	92	52	28	60	50	20					
8	제조변동비=	30	20.5	6.5	30	20.5	6.5					
9	개당 판매비용	2	1.5	1.5	0	0	0					
10	공헌이익=	60	30	20	30	29.5	13.5					
11	(변수)생산량:=	10	10	60	2	0	20					
12					특별주문 수락여부(0/1)							
13		책상UL	탁자UL	의자UL	책상	탁자	의자					
14	특주선택여부=				1	0	1	:=				
15	수요량 제한 <=	10	10	60	10	0	20	특				
16	생산량 제한 <=	40	53.333	133.333	10	15	20	특				
17		(만원)	영업이익	특주이익	50	200	100	셋				
18	총이익=	2280	2100	330	150							
19					(셋업비용합계)							
20												

려면 치루어야 할 일종의 고정비 성격이다. 따라서 정수계획법의 고정비 발생문제(Fixed Charge Problem)를 표현하는 모형화 방법을 활용한다(Winston, 2004, 549-550).

> 시나리오 3. 책상, 탁자, 의자를 각각 (60, 50, 20)만 원의 가격에 각각 (10, 15, 20)개씩 요청하는 특별주문이 있다. 특별주문에 응하려면 생산라인을 다르게 셋업을 하여야 하고 셋업비용이 (50, 200, 100)만 원이 든다. 단, 특별주문량 안에서 일부분만 공급하여도 좋다. 기존의 생산계획에 변경이 일어나도 좋으며, 생산수량은 모두 정수로 한다. 특별주문이므로 별도의 판매비용은 발생하지 않는다. 어느 제품의 특별 주문을 선택해서 몇 개나 응하는 것이 좋은가?

기존 영업의 수요량이 각각 (10, 10, 60)개인 것으로 가정하고, 책상 탁자 의자를 매월 각각 10개, 10개, 60개를 소매점에 공급하는 최적의 생산계획으로 월 2100만 원의 총이익을 올리고 있는 것으로 가정하였다.

이러한 의사결정을 하려면 특별주문에 선택적으로 응하는 대안의 경우의 수를 모두 따져서 총이익을 비교해야 한다. 책상 탁자 의자의 각각에 대해서 선택/불선택을 따지면 모두 8가지이다. 이것은 다음과 같이 목적값을 최대화하는 정수계획법 모형으로 표현할 수 있다.

셋업이 필요한 특별주문 모형 (모형 5)

$$\text{Max. } Z = \sum_{j=1}^{3} x_j (p_j - t_j - \sum_{i=1}^{3} a_{ij} c_i) + \sum_{j=1}^{3} y_j (r_j - \sum_{i=1}^{3} a_{ij} c_i) - \sum_{j=1}^{3} u_j F_j \tag{14}$$

subject to

$$\sum_{j=1}^{3} a_{ij} (x_j + y_j) \le H_i , \quad i = 1, 2, 3$$

$$0 \le x_j \le q_j , \quad j = 1, 2, 3 \tag{15}$$

$$\text{단, } x_j \text{는 정수} \tag{16}$$

$$y_j \le u_j S_j\ ,\ j = 1, 2, 3 \tag{17}$$

$u_j = 0 \text{ or } 1$: 특별주문 제품 j 선택여부

y_j: 특별주문 수락량(정수변수)

r_j: 특별 주문품의 가격

F_j: 셋업비용

S_j: 특별주문 수요량 (10, 15, 20)

나머지는 (모형 1)과 같음.

(모형 5)를 스프레드시트로 모형화 하면 <Fig. 6>와 같다. u_j=(E14:G14), u_jS_j=(E15: G15), S_j=(E16:G16), y_j=(E11:G11)이고, 식 (14)는 (B18:E18)에 표현되어 있다.

해찾기를 한 결과를 보면, 기존의 생산계획은 그대로 유지된다. 특별주문에서 의자를 선택하고, 셋업비용을 치룬 후 특별주문량 20개를 전량 생산한다. 탁자는 선택하지 않으며 책상은 선택하고 셋업비용을 치룬 후 2개를 생산한다. 영업이익 2100만원은 그대로 유지되고, 특별주문 이익은 330만원, 셋업비용 150만원을 제외 하면 총 이익은 2280만원이 된다.

2. 잠재가격을 통한 외주가공의 의사결정

외주(Outsourcing)를 통하여 외부 자원을 추가하는 의사결정을 살펴보자. 책상 탁자 의자의 수요량 제한 조건을 (60, 10, 100)으로 완화하여 책상과 의자에는 실질적으로 수요량 제한에 영향을 받지 않는 상황을 가정하였다.

<Fig. 7>는 (모형 2)의 엑셀모형으로 기존 영업의 생산계획에 대한 최적해이다. (20, 0, 80) 개씩 생산하여 총 이익은 2800만원이 되었다. 제한조건에 대한 민감도보고서를 첨부하였다. 민감도보고서 잠재가격(Shadow Price)은 자원의 기회비용을 나타낸다. 판재, 절단작업의 공정, 목공작업 공정의 잠재가격은 각각 0, 10, 10만원이다. 절단작업과 목공작업에 외주가공을 1시간씩 추가하면, 총이익을 시간당 10만원씩 증가시킨다. 이것은 시간당 직접제조비 2만원과 3만원을 이미 감안한 것이다.

Fig. 7. Spreadsheet Modeling under Demand Restriction

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1								자원	소요원가	
2		책상	탁자	의자		사용량=		가용량	(만원)	
3	판재	8	6	1		240	<=	480	2	(미터당)
4	절단작업	4	2	1.5		200	<=	200	2	(시간당)
5	목공작업	2	1.5	0.5		80	<=	80	3	(시간당)
6										
7	판매가격	92	52	28						
8	제조변동비=	30	20.5	6.5						
9	개당 판매비용	2	1.5	1.5						
10	공헌이익=	60	30	20						
11	(변수)생산량:=	20	0	80						
12										
13		책상UL	탁자UL	의자UL						
14	생산갯수=	20	0	80						
15	수요량 제한 <=	60	10	100						
16	생산량 제한 <=	60	53.333	133.333						
17		(만원)								
18	총이익=	2800								

제한 조건 민감도 보고서

셀	이름	계산 값	잠재 가격	제한 조건 우변	허용 가능 증가치	허용 가능 감소치
B14	생산갯수= 책상UL	20	0	60	1E+30	40
C14	생산갯수= 탁자UL	0	0	10	1E+30	10
D14	생산갯수= 의자UL	80	0	100	1E+30	20
F3	판재 사용량=	240	0	480	1E+30	240
F4	절단작업 사용량=	200	10	200	10	40
F5	목공작업 사용량=	80	10	80	20	5

자원의 가용량이 더 늘어나면 그것이 총이익에 어떤 영향을 미칠까? 여기에 대한 예측은 미리 잠재가격을 통하여 알 수 있다. 예를 들면 절단작업에 x 시간, 목공작업에 y 시간을 외주를 주어서 가용시간을 늘린다면, $10x+10y$ 만 원의 이익이 증가할 것으로 예측할 수 있다. 그러나 x 와 y 는 다음의 100%규칙을 만족하는 한도 안에서 성립하는 예측이다.

$$[(\frac{x^+}{10}+\frac{y^+}{20})+(\frac{x^-}{40}+\frac{y^-}{5})]\times 100 \le 100\% \qquad (18)$$

$$\text{단, } x = x^+ - x^-,\ y = y^+ - y^-$$

$$\text{여기서 } x^+, x^-,\ y^+,\ y^- \ \ge 0$$

여기서 분모의 10과 20은 민감도보고서의 허용가능 증가치이며, 40, 5는 허용가능 감소치이다. x 와 y가 음수이면 자사의 작업시간을 타사에 임대해주는 것을 말한다. 그러나 이것은 어디까지나 오류 없는 안전한 예측을 위한 분석이다(100% 규칙에 대해서는 Winston, 2004, 6.4절 참조). 이 범위를 벗어나는 경우는 실제 풀어 보아야 한다. 이제 시나리오 4를 통해서 살펴보자.

시나리오 4: 책상 탁자 의자를 매월 각각 20개, 0개, 80개 생산하여 소매점에 공급하여 월 판매이익을 2800만원 올리고 있다. 만일 인근의 K공장에서 절단작업을 더 해주는 '외주가공'이 가능하다면 시간당 얼마를 지불해야 할까? 거꾸로, 인근 공장의 절단 공정 작업을 Dakota 공장에서 대신 수행해 준다면 시간당 얼마를 받아야 이익이 될까?

잠재가격의 뜻은, 만일 절단작업을 1시간 더 늘린다면 총이익이 10만원 증가함을 뜻한다. 이 금액에는 절단작업 1시간의 직접 제조비를 2만원을 제한 뒤이다. 만일 외주가공비를 시간당 2만원을 지불한다면, 이는 Dakota의 제조원가 2만원과 일치하므로 시간당 10만원의 잠재가격이 외주의 이익공헌과 일치한다. 절단작업의 외주 가공비는 직접제조비 2만원을 포함해서 시간당 12만원 까지 지불가능하다. 이것은 외주 가공 시간의 잠재가격으로 다시 확인할 수 있다(〈Table 2〉 참조).

(모형 2)에 외주가공시간 h_i을 추가하고, 외주가공 비용을 o_i 추가하여 수리모형으로 나타내면 다음과 같다.

외주가공의 수리모형 (모형 6)

$$\text{Max. } Z = \sum_{j=1}^{3} x_j(p_j - t_j) - \sum_{i=1}^{3}(\sum_{j=1}^{3} x_{ij}a_{ij} - h_i)c_i - \sum_{i=1}^{3} o_i h_i \qquad (19)$$

subject to

$$\sum_{j=1}^{3} a_{ij}x_j \le H_i + h_i,\ i = 1,2,3 \qquad (20)$$

$$0 \le x_j \le q_j,\ j = 1,2,3 \qquad (21)$$

$$h_i \le G_i,\ i = 1,2,3 \qquad (22)$$

h_i: 외주시간(변수)

G_i: 외주시간 한도

o_i: 외주가공비(만원)

목적식 (19)는 판매가격에서 판매비를 제한 후의 총매출액(Revenue) - 직접제조비 - 외주가공비로 구성되어 있다. 목적식은 다르게 표현할 수도 있는데, 아래 식 (23)은 지금까지 사용한 제품별 공헌이익을 이용한 식이다. 외주가공비에서 직접제조비를 뺀 순수 외주가공비를 총매출액에서 뺀 식이다. (외주가공비 - 직접제조비)에 외주시간을 곱한 것이 순수 외주가공비이다. 이 식을 사용해도 되지만, 자칫 외주가공비에 내부의 직접제조비를 공제하는 것을 빠트리지 않도록 주의할 필요가 있다.

Fig. 8. Spreadsheet Modeling for Outsourcing

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1								자원	원가	내부자원	외주가공	외주가공	외주
2		책상	탁자	의자		사용량=		가용량	(만원)	사용량	시간:=	제한	가공비
3	판재	8	6	1		360	<=	480	2	360		-	0
4	절단작업	4	2	1.5		220	<=	220	2	200	20	20	12
5	목공작업	2	1.5	0.5		100	<=	100	3	80	20	20	10
6													
7	판매가격	92	52	28									
8	제조변동비=	30	20.5	6.5									
9	개당 판매비용	2	1.5	1.5									
10	공헌이익=	60	30	20									
11	(변수)생산량:=	40	0	40									
12													
13		책상UL	탁자UL	의자UL									
14	생산갯수=	40	0	40									
15	수요량 제한<=	60	10	100									
16	생산량 제한<=	60	53.333	133.333									
17		(만원)		순이익									
18	총이익=	3300	-(공제)=	2860									
19	판매비용합계=		140										
20	제조변동비합계=		1360										
21	외주가공비합계=		440										
22													

외주가공시간: = K4:K5 (변수)
절단작업 가용량 : H4 = 200 + K4 (기존량+외주량),
목공작업 가용량 : H5 = 80 + K5
내부자원사용량 : J3=F3, J4 = F4 - K4, J5 = F5 - K5,
제조변동비 합계: C20 = SUMPRODUCT(I3:I5, J3:J5)
외주가공비 합계: C21 = SUMPRODUCT(K3:K5, M3:M5)
순이익 D18 = B18 - C19 - C20 - C21
해찾기 설정: 목표셀: D18
변수셀: B11: D11, K4:K5
제한조건: B11:D11 <= B15: D15, F3:F5 <=H3:H5,
K4:K5 <= L4:L5

$$\text{Max. } Z = \sum_{j=1}^{n} x_j (p_j - t_j - \sum_{i=1}^{m} a_{ij} c_i) - \sum_{i=1}^{m} (o_i - c_i) h_i \qquad (23)$$

이러한 분석을 기초로 실제의 외주 대안 선택은 실제로 풀어보아야 한다. 〈Fig. 8〉은 주어진 외주시간 한도와 외주비를 가지고 최적의 해를 찾는 모형이다.

〈Fig. 8〉에 있는 (모형 6)의 변수와 자료는: h_i= (K3:K5), G_i=(L3:L5), o_i= (M3:M5) 이다. 자원 가용량은 $H_i + h_i$ = (H3:H5) = (480, 200, 80) + (0, K4, K5) 으로 계산한다.

외주가공비용(C21) = SUMPRODUCT(K4:K5, M4:M5) 이다. D18의 순이익(=총이익 - 외주가공비용)을 최대화하도록 생산량 x_j=(B11:D11)과 외주시간 h_i=(K4:K5)을 변수로 하여 해를 찾을 수 있다. 더 자세한 내용은 〈Fig. 8〉의 박스 속에 있다.

외주시간 (-, 20, 20) 한도 안에서 주어진 외주비를 가지고 최적의 외주 가공시간을 정한 것이 〈Table 2〉이다. 〈Table 2〉의 (외주 3)은 예상 밖으로, 목공작업은 공헌이익 10만원과 직접제조비 3만원을 합한 금액을 외주비 14만원이 초과하는데도 외주시간을 5시간 활용하고 있다. 그 이유는 절단작업의 외주 가공시간을 활용하기 위해서이다. 자신의 기회비용을 초과하지만 절단작업의 외주시간의 공헌이익(10-8=2만원)을 실현하는데 숨어서 기여하고 있기 때문이다. 공헌이익은 목공작업 공정이 단독으로 만드는 것이 아니고 다른 공정과 조합하여 생기는 공헌이다. 이러한 결과는 제품이나 공정을 독립적으로 분석해서는 얻을 수 없는 것이다.

Table 2. Production Planning for Various Outsourcing

외주가공시간의 제한: (-, 20, 20)시간을 가정	외주 1	외주 2	외주 3
외주가공비 (-,절단,목공) 최적 외주시간 (-,절단,목공)	(-,5,5)만원 (0,20,20)시간	(-,10,10)만원 (0,20,20)시간	(-,10,14)만원 (0,20,5)시간
생산량 (책상,탁자,의자) (영업)총이익: (만원) 외주비합계: (만원) 순이익: (만원)	(40,0,40)개 3300만원 200만원 3100만원	(40,0,40)개 3300 만원 440 만원 2860 만원	(17.5,0,100)개 3105 만원 270 만원 2835 만원
판재 사용량 조건 절단작업 사용시간 조건 목공작업 사용시간 조건	360<=480 220<=220 100<=100	360<=480 220<=220 100<=100	240<=480 220<=220 85 <=85
외주가공시간의 제한에 대한 잠재가격(외주 공헌이익/시간)	(0, 7, 8)만원	(0, 2, 3)만원	(0, 1.5, 0)만원

3. 공정개선을 통한 원가절감 분석

⟨Fig. 1⟩의 최적해의 생산계획을 보면 탁자는 생산을 하지 않고 있다. 그 이유는 탁자를 생산하는 데 소요되는 자원이 책상이나 의자에 비해서 과다하기 때문이다. ⟨Fig. 3⟩의 민감도 보고서의 변수(Variable Cells) 부분을 보면, 탁자의 한계비용(Reduced Cost)는 −5만원이다. 탁자를 한 대 생산하는 최선의 해를 구한다면 지금보다 총이익 5만 원 줄어듦을 말한다. 탁자 생산공정을 어떻게 개선해야 할까? 아래 시나리오 5를 가지고 분석해 보자.

> 시나리오 5 – 원가절감 의사결정: 현재 책상 탁자 의자를 매월 각각 20개, 0개, 80개 생산하여 소매점에 공급하여 월 판매이익을 2800만원 올리고 있다. 탁자를 생산할 수 있게 수익성을 개선하려면, 탁자 제조공정 어느 공정을 얼마나 개선하여야 하는가? 공정개선의 비용은 무시하기로 한다.

탁자의 공헌이익이 30만원인데, 탁자의 판매가격을 현재 52만원에서 57만 원 이상으로 올려서 공헌이익이 35만 원 이상 되면 수익성이 있다. 실제로 판매가격을 58만원으로 하면, 책상은 7.5대, 탁자는 10대(수요제한이 10대임), 의자는 100개(수요제한이 100대임) 생산한다. 총이익은 2810만 원으로 10만원이 늘어난다.

탁자 제조의 어느 공정을 얼마나 개선해야 한계비용을 커버할 수 있는가? 탁자제조 공정에 절단작업을 x 시간 개선한다면 두 가지 개선효과가 있다. 하나는 절단작업 제조원가가 $2x$만 원 줄어든다. 두 번째는, 만일 탁자를 생산하게 된다면 절단작업 시간을 x 시간만큼 절약하게 되므로 그 기회비용(잠재가격)을 반영하여 $10x$ 만 원 개선효과가 있다. 이 개선효과가 탁자의 한계비용(수정비용)보다 커야 한다. 즉,

절단작업 개선 조건:

$$10x + 2x \ \geq \ 5 \Rightarrow x \geq 5/12 \qquad \Rightarrow \ x \ \geq \ .4127 \qquad (24)$$

이다. 절단작업을 개선하여 작업소요 시간을 0.4127 시간 이상 절약한다면 탁자는 생산이 가능하다.

같은 방법으로 목공작업을 y시간 개선한다면, 목공작업 제조원가는 $3y$만 원 절약되므로

Fig. 9. Cost Improvement Analysis

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1				개선된		공정개선				제조직접	
2		책상	탁자	탁자	의자	탁자	사용량=		가용량	원가(만원)	
3	판재	8	6	6	1	0	220	<=	480	2	(미터당)
4	절단작업	4	2	1.5	1.5	0.5	200	<=	200	2	(시간당)
5	목공작업	2	1.5	1.5	0.5	0	80	<=	80	3	(시간당)
6											
7	판매가격	92	52	52	28						
8	제조변동비=	30	20.5	19.5	6.5						
9	판매비용	2	1.5	1.5	1.5						
10	공헌이익=	60	30	31	20						
11	(변수)생산량:=	10.000	0.000	6.667	100						
12				개선후							
13		책상UL	탁자UL	탁자	의자UL						
14	생산갯수=	10.000	0.000	6.667	100						
15	수요량 제한<=	60	53	53	100						
16	생산량 제한=	60	53.333	53.333	133.333						
17		(만원)									
18	총이익=	2806.7									
19											

F3:F5는 탁자공정 개선시간
개선후 탁자 공정 시간
D3 = C3 - F3, D4 = C4 - F4, D5 = C5 - F5
해찾기 모형 설정:
목표셀: B18, 최대화
변수셀: B11:E11
제한조건: G3:G5 <= I3:I5, B11:E11 <= B15:E15

목공작업 개선 조건:

$$10y + 3y \geq 5 \Rightarrow y \geq 5/13$$
$$\Rightarrow y \geq .3846 \qquad (25)$$

이다. 목공작업을 개선하여 작업시간을 0.3846 시간 이상 절약한다면 탁자는 생산이 가능하다. 만일 개선의 난이도가 같다면 목공작업을 개선하는 것이 유리하다.

여기서는 절단작업을 더 구체적으로 살펴보면, 2시간 걸리는 절단작업을 개선해서 0.4167 시간 이상 줄인다면 탁자는 수익성이 있다. 만일 공정개선을 통하여 탁자의 절단작업 소요시간을 0.5시간 절약한다면, 최적해는 <Fig. 9> 엑셀시트와 같다. 총이익은 2806.7으로 증가가 미미하지만 탁자의 수익성이 개선되어 6.67개 생산함으로써 제품라인에 진입하였다는 것이 의미가 있다. 최적해는 수요량 제한에 많은 영향을 받고 있다.

V. 결론

본 연구에서는 제품이 세 개이고 자원이 3개인 Dakota의 사례문제를 가지고 관리회계적인 여러 가지 의사결정 문제를 선형계획 모형으로 표현하여 다루었다. 의사결정문제의 현실 상황을 충실히 표현하기 위해서 정수계획법을 사용하였다. 제품 갯수를 정수로 해야 하거나, 선택 여부나 셋업비용이 생기는 경우를 표현하기 위한 논리적 제약을 0/1 정수로 표현한 경우이다. 특별주문에 대해서는 기존 영업을 해치지 않아야 하는 경우는 절대우선 목표계획법적인 방법으로서 선형계획법을 2단계로 나누어 적용하였다. 특별주문에 선택적으로 수락하는 경우는 0/1 Knapsack(베낭문제) 모형을 응용하고, 셋업비용이 드는 경우는 0/1 Fixed Charge(고정비표현) 정수계획법으로 접근하였다.

외주가공에 대한 결정은 잠재가격을 이용하여 자원의 이익 공헌도를 평가하여 분석하였으며, 수리모형으로 작성할 때에는 목적식 표현에 오류가 없도록 주의가 필요하였다. 원가개

선을 통해 제품의 공헌이익 수익성을 개선하는 것을 분석하는 데에는 작업공정 개선에 의한 직접제조비의 절감 효과와, 자원의 절약에 의한 기회비용 절약효과를 동시에 고려하여 해당 제품의 한계비용(Reduced Cost)을 능가하여야 하는 것을 예시를 통하여 보였다.

본 연구를 통하여, 선형계획법을 이용하여 관리회계적인 의사결정 문제를 현실에 충실하게 표현할 수 있을 뿐만 아니라, 스프레드시트 모형화를 이용하여 보다 실용적이고 효과적으로 최적의 대안을 찾을 수 있음을 보였다. 또한 선형계획법의 잠재가격과 한계비용(수정비용)의 개념이 다양한 의사결정 문제에 적용될 수 있음을 5가지 시나리오를 통해서 설명하였는데, 이는 실용적인 적용뿐만 아니라 경영과학과 관리회계의 교육에도 유용하게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

References

Anderson, D. R., D. J. Sweeny and T. A. Williams (2003), *An Introduction to Management Science,* 10th edition, Thomson

Amile, T. T. (2009), "Constrained Optimization Problems In Cost And Managerial Accounting - Spreadsheet Tools," *American Journal of Business Education,* 2(4) 11-21.

Bradbard, D. A., C. Alvis and R. Morris (2014), "Spreadsheet Usage By Management Accountants: An Exploratory Study," *Journal of Accounting Education,* 32, 24-30.

Cowton, C. J. (1996), "A Note on the Limiting Factor Rule and Multiple Resource Constraints," *Accounting Education,* 5(3), 269-274.

Demski, J. S. (1967), "An Accounting System Structured On A Linear Programming Model," *The Accounting Review*, 42(4), 701-712.

Fylstra, D., L. Lasdon, J. Watson and A. Karen (1998), "Design and Use of the Microsoft Excel Solver," *Interfaces,* 28(5), 29-55.

Horngren, C. T., S. M. Datar and M. V. Rajan (2013), *Cost Accounting: A Managerial Emphasis,* 14th edition, Boston, Pearson.

Hiller, F. and S. M. S. Hiller (2004), *Introduction to Management Science*, New York, McGrawHill.

Jansen, B., J. J. de Jong, C. Roos and R. T. Terlaky (1997), "Sensitivity Analysis in Linear Programming: Just Be Careful!", *European Journal of Operations Research* 101, 15-28.

Jensen. R. E. (1968), "Sensitivity Analysis and Integer Linear Programming," *The Accounting Review*, 43(3), 425-446.

Kaplan, R. S. and G. L. Thompson (1971), "Overhead Allocation via Mathematical Programming Models," *The Accounting Review*, 46(2), 352-364.

Kim, Seon-Min and Gwang-Hoon Park (1997), "A Comparison of Theory of Constraints and Linear Programming as Decision Making Tools," *Korean Management Review,* 26(4), 941-959.

Lee, Choong-Seop (2011), Managerial Accounting: for Planning and Control, 2nd ed, CheongRam, Seoul.

Park, Jun-Wan (2010), "A Study on the Algorithm for Optimizing Product Mix Decision under the Theory of Constraints," *Korean Journal of Accounting Research*, 15(3), 133-153.

Ragsdale, C. T. (2004), *Spreadsheet Modeling and Decision Making: A Practical Introduction to Management Science,* 4th ed., Thomson.

Rapparport, A. (1967), "Sensitivity Analysis in Decision-Making," *Accounting Review*, 42(3), 441-456.

Souren R. H. and When, C. Schemist (2005), "Optima Product Mix Decisions Based on the Theory of Constraints: Exposing Rarely Emphasized Premises of Throughput Accounting," *International Journal of Production Research,* 43(2), 362-374.

Thai, W. H. and J. C. Chains (2007), "An Algorithm for Optimizing Joint Products Decision Based on The Theory of Constraints," *International Journal of Production Research,* 45(15), 3421-3437.

Togo, D. F. (2005), "Integrating Operations Management Into Cost Systems: An Accounting Approach To Linear Programming," *Journal of Business Case Studies,* 1(4), 27-32.

Winston, W. L. (1996), "The Teachers' Forum: Management Science with Spreadsheet for MBAs at Indiana University," *Interfaces*, 26(2), 105-111.

Winston W. L. and S. C. Albright (1997), *Practical Management Science: Spreadsheet Modeling and Applications*, Boston, Duxbury.

Winston W. L. (2004), *Operations Research: Applications and Algorithms,* 4th edition, Belmont, Thomson.

Wright, F. K. (1968), "Measuring Asset Services: A Linear Programming Approach," *Journal of Accounting Research*, 6(2), 228-236.