

제약이론과 선형계획이론의 상호 비교* -제품믹스문제를 중심으로-

김선민

서울산업대학교 산업경영학과 전임강사

박광훈

서울산업대학교 산업경영학과 조교수

본 연구의 목적은 의사결정수단으로서 전통적으로 사용된 선형계획이론과 최근 새로이 그 중요성이 점차 증대되고 있는 제약이론 사이의 상대적 우월성을 비교하는 것이다. 구체적으로, 제품믹스문제를 중점으로 두 이론을 비교한 기존 연구가 어떠한 기준에서 비교하였는지를 분명히 제시하지 못하고 있기 때문에, 본 연구는 기존 연구의 문제점을 극복하기 위하여 논리적 타당성, 도출해의 우월성, 현실적 사용범위 등과 같은 비교 기준을 설정하고 이러한 비교기준 하에서 두 이론을 비교하였다.

본 연구 목적을 달성하기 위하여 세 가지 시나리오를 이용하여 두 이론을 비교 분석하였고 각각의 시나리오에는 생산능력의 감소와 수요감소, 가격변동에 의한 수요증가 및 잔업을 통한 생산능력의 증대가 각각 사용되었다.

연구 결과에 의하면 제약이론은 여러 제약요소를 동시에 고려하지 못하고 한 가지 제약요소에만 초점을 맞추어 의사결정을 하기 때문에 선형계획이론에 비하여 부적절한 해를 제시할 가능성이 있을 뿐만 아니라, 다양한 시나리오의 도출해를 구하는 과정에 있어 선형계획이론보다 문제해결의 편의성을 제공하지 못하였다. 그러나 본 예제에서 다른 잔업시간의 결정과 같은 어떤 의사결정상황에서는 잔업시간 당 임금과 같은 특수 변수가 어떤 값을 취하느냐에 따라서 제약이론의 해와 선형계획이론 해의 우월성이 달라졌다.

1. 서론

격변하는 기업 환경 하에서 당면한 문제를 효과적으로 해결하기 위한 의사결정은 경영자에게 요구되는 필수적인 기능이며, 경영자는 과거 어느 때보다도 효과적인 의사결정에 도움이 되는 의사결정수단에 많은 관심을 기울이고 있다. 이러한 의사결정수단에는 여러 가지가 있으며, 예를 들면, 정태적 환경 하에서의 선형계획이론, 동태적 환경 하에서의 네트워크 모형, 마아코브모형, 대기행렬 및 시뮬레이션 등을 들 수 있다.

최근에는 경영철학 (management philosophy)적 방법인 제약이론 (Theory of Constraints)이 생산관리 분야에서 대두되어 생산관리 및 마케팅 분야에서 널리 응용되고 있다. 제약이론 (이전에는 이를 최적제조기술이라 칭하였음)이란 모든 시스템은 시스템의 목적을 달성하는데 방해하고 있는 제약요소가 항상 존재한다고 보고 시스템의 제약요소를 발견하고 주어진 조건하에서 이를 최대로 이용할 수 있도록 하여 최종적으로 시스템의 제약요소를 해소하는 과정을 연속적으로 사용하는 경영 개선 철학으로 Goldratt에 의해 1980년 중반에 제시되었다. 그런데 비록 제약이론이 경영 개선의 철

학으로 제시되었지만 그 수단으로 사용된 '5 단계 의사결정방법'에 관련된 개념이 이미 사용되고 있는 선형계획이론의 의사결정방법을 경영자가 이해하기 쉽도록 부연하고 있을 뿐이라는 주장이 제기되었다. 따라서, 이후 많은 학자들 (Umble and Srikanth, 1990 Luebbe and Finch, 1992 등)은 제약이론의 경영 철학적 측면보다는 의사결정수단으로서 제약이론이 제시하고 5단계 의사결정방법을 중심으로 선형계획이론과 제약이론의 상대적 우월성을 조사하였다. 그 결과, 여러 학자들 사이에 의사결정수단으로서 제약이론이 선형계획이론보다 더 구체적이고 우수하다고 주장하는 측과 선형계획이론이 제약이론보다 더 정확한 방법이라고 주장하는 측으로 나뉘어 의견이 분분한 실정이다.

예를 들어, Luebbe and Finch (1992)는 주어진 제조 환경 하에서 최적제품구성 문제를 해결하기 위한 수단으로서 제약이론과 선형계획이론을 사용할 수 있으며 두 이론 모두 가공시간, 생산제품의 수요 및 생산능력 등의 변화가 의사결정에 미치는 영향을 분석할 수 있지만, 그림자 가격 (shadow price)을 통한 선형계획이론은 제약자원 단위당 공헌도 (\$ contribution per constraint unit)를 사용한 제약이론만큼 상세한 분석을 제공하지 못한다고 주장하였다. 그와 반대로 Lee and Plenert (1993)는 Luebbe and Finch가 사용한 동일한 예제에서 새로운 제품을 추가로 도입할 경우 제약이론의 최적제품구성은 선형계획법에 의한 것보다 낮은 이윤을 제공한다고 주장하였다.

그런데 선형계획이론과 제약이론의 상대적 우월성을 비교한 위의 두 연구는 어떠한 기준에서 두 이론을 비교하였는지를 분명히 제시하지 못 하였다. 즉 두 이론을 비교하기 위하여 논리적 타당성, 도출해의 우월성, 현실적 사용범위 등과 같은 비교

기준이 먼저 설정되어야 하며 이러한 비교기준 하에서 두 이론을 비교하여야 할 것이다. 그러나 Luebbe and Finch는 선형계획이론을 제약이론의 5단계에 의하여 설명하는데 불과하였고 Lee and Plenert는 선형계획이론이 제약이론에 비하여 보다 우월한 도출해를 제시한다고 하였으나 이는 잘못된 논리에 의존하고 있다 (상세한 것은 Posnack (1994) 참조). 이상의 점을 인식하여 본 연구는 Luebbe and Finch 연구에서 사용된 제품믹스문제를 중심으로 선형계획이론과 제약이론을 논리적 타당성의 관점에서 분석한 후, 세 가지 사례를 이용하여 두 이론의 도출해의 우월성, 해의 접근성과 현실적 의미의 풍부성을 비교, 분석한다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 제약이론 및 선형계획이론에 대한 간략한 설명이 있으며, III 장에서는 Luebbe and Finch 연구의 내용 및 문제점을 토론하며 IV 장에서는 논리적 타당성, 도출해의 우월성, 해의 접근성 및 현실적 의미의 풍부성의 관점에서 두 이론의 비교, 설명이 있으며 V 장에서는 본 연구의 요약 및 결론을 다룬다.

II. 이론적 설명

2.1. 제약이론

의사결정수단으로서의 제약이론은 1980년대 중반 Goldratt에 의해 생산관리 분야에서 제시된 이래 점차 많은 학자들 (Goldratt 1990, Umble and Srikanth 1990, Goldratt and Cox 1992)에 의해 여러 경영학 분야에서 응용될 수 있

는 새로운 이론으로 발전하였다. 이 이론의 핵심은 모든 의사결정 문제는 기업이 추구하는 목표 (i.e., 이윤극대화)를 제한하는 제약요소를 갖고 있으며 이 제약요소를 집중 관리함으로써 의사결정 문제의 해결 및 지속적인 개선을 가져올 수 있다는 것이다. 이를 위해 제약이론에서는 체계적이고 단계적인 5 단계 의사결정방법을 사용함으로써 의사결정자 (경영자)가 추구하는 목표를 제한하고 있는 제약요소에 모든 노력을 집중할 수 있도록 도와준다. 제약이론에서 제시하고 있는 5 단계 의사결정방법은 다음과 같다.

- 단계 1: 제약요소(들)을 발견하라.
- 단계 2: 제약요소(들)을 최적 이용할 수 있는 방법을 결정하라.
- 단계 3: 단계 2의 결정에 모든 기업 활동을 종속시켜라.
- 단계 4: 제약요소의 개선 방안을 모색하라.
- 단계 5: 단계 4에서 제약요소가 개선되었으면 단계 1로 가라.

(단, 개선된 제약요소가 다시 제약요소 되지 않도록 유의하라.)

제약이론에서 제시하는 이러한 5 단계 의사결정방법의 장점은 단계적인 과정을 채택함으로써 의사결정자가 위의 5 단계 의사결정 과정을 쉽게 이해하고 받아들일 수 있으며 또한 이를 연속적으로 그리고 반복적으로 사용하여 의사결정 문제를 지속적으로 개선(continuous improvement)시키는 방향으로 나갈 수 있다는 점이다 (제약이론의 5 단계 의사결정 및 이에 관련된 개념에 대한 보다 자세한 논의는 Goldratt, Umble and Srikanth을 참고하길 바람).

2.2. 선형계획이론

선형계획이론 (Linear Programming: LP)은 하나의 의사결정 목표를 성취하기 위하여 한정된 자원을 배분하는 총체적인 수리적 기법(mathematical technique)이며 의사결정의 목표는 이윤의 극대화, 비용의 최소화 등이 될 수 있다. 선형계획이론은 주어진 의사결정 문제에 대하여 의사결정 변수, 하나의 목적함수, 그리고 제약조건식을 정의하여 선형계획모형을 수립한 후 목적함수를 최적화하는 최적해를 구하며 이러한 최적해 (의사결정 변수)를 도출하기 위하여 선형계획이론은 심플렉스 방법을 사용한다.

그런데, 의사결정수단으로서의 선형계획 이론은 단지 주어진 목적함수를 최적화 시키는 해 (solution)를 도출하는 것으로 끝나지 않으며 최적해를 구한 후, '우변상수값'의 변화나 목적함수에서 '단위당 공헌율'의 변화와 같은 동태적 의사결정 환경 하에서 최적해의 안정성을 분석할 수 있는 사후분석 기법도 제공한다. 예를 들면, 자원의 증가 혹은 감소를 나타내는 우변상수값의 변화가 최적해에 미치는 영향은 그림자 가격 (shadow price)의 분석을 통하여 알 수 있다. 이러한 사후분석 기법은 단일 매개변수의 변화가 최적해에 미치는 영향을 분석하는 민감도분석과 여러 매개변수의 변화가 최적해에 미치는 영향을 분석할 수 있는 매개변수 분석이 있다.

III. LUEBBE AND FINCH 의 비교연구

3.1 Luebbe and Finch 연구의 요약

본 장에서는 두 이론의 특성을 대조·설명하기

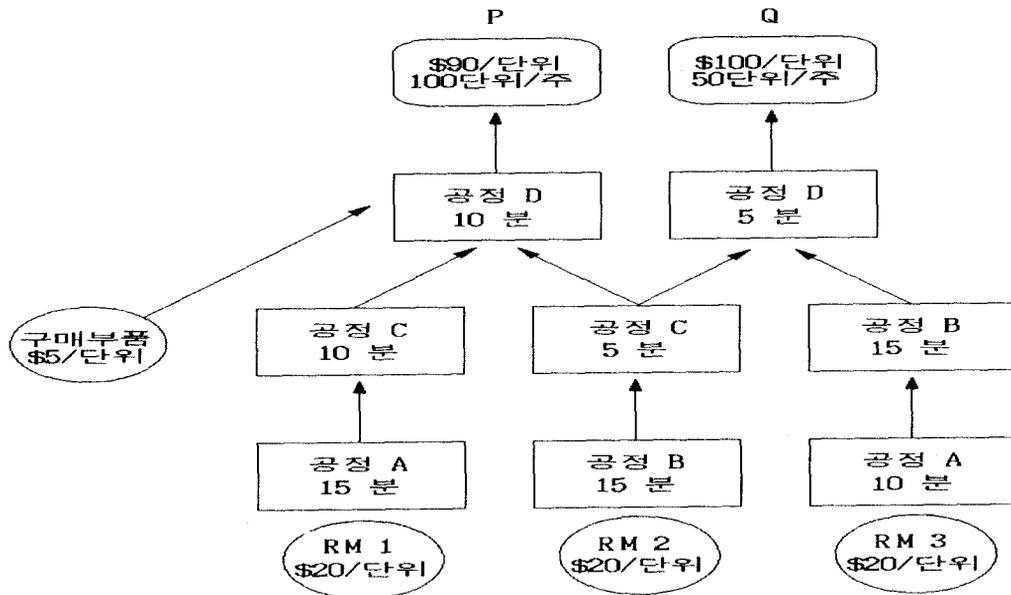
위하여 Luebbe and Finch가 제시한 내용을 요약·설명한다. Luebbe and Finch는 Goldratt에 의해 소개된 최적 제품 구성 문제를 사용하여 선형 계획이론을 제약이론의 5단계에 의하여 설명하였다. 예제에 나타나 있는 생산환경은 두 가지 제품 P와 Q를 생산하고 두 제품의 판매가격은 각각 \$90과 \$100이며 시장수요는 제품 P의 경우 주당 100 단위이고 제품 Q의 경우 주당 50 단위이다. 두 제품을 생산하기 위해 3 가지 원자재를 사용하는데 (이를 RM1, RM2, RM3라고 기술함) 단위당 원가는 \$20이다. 원자재 이외에 제품 P를 생산하기 위해 단위당 \$5인 부품을 구매하여야 한다. 제품생산에는 네 가지 생산설비 (이하에서는 이를 공정 A, B, C, D라고 기술함)가 필요하며 각 공정의 주당 생산능력 시간은 2400 분이다. 각 제품

의 가공순서, 필요한 공정, 각 공정의 단위당 제품생산에 필요한 가공시간 등은 <그림 1>에 나타나 있다.

단계 1. 제약요소를 발견하라.

제약이론의 5 단계 의사결정 과정의 첫 번째는 제약요소를 발견하는 것으로 제약이론의 제약요소는 선형계획이론에서의 속박제약조건에 해당된다. Luebbe and Finch가 설명하였듯이 이 제약요소는 제약이론에서는 부과-능력 분석 (load-capacity analysis)을 사용함으로써, 선형계획이론에서는 잔여변수의 값, 즉 그림자가격을 사용함으로써 발견할 수 있다.

이상의 개념을 Luebbe and Finch는 본 예제에 적용하여 제약이론에서는 아래의 <표 1>에 제시되



<그림 1> 예제문제의 공정도 (각 제품의 가공순서)

〈표 1〉 예제의 부과-능력분석의 계산결과

공정	주당제품별필요시간		총주당필요시간 (1)	주당생산능력시간 (2)	주당부과율 (1) + (2)
	P	Q			
A	1500	500	2000	2400	83%
B	1500	1000	3000	2400	125%
C	1000	750	1750	2400	73%
D	1000	250	1250	2400	52%

어 있는 바와 같이 공정 B의 주당 부과율이 100%를 초과하여 공정 B가 제약요소가 된다고 하였다.

한편 선형계획이론의 경우에는 아래의 수리적 모형을 설정한 후에 〈표 2〉에 제시된 해를 살펴봄으로써 제약요소를 알 수 있는 바, 본 예의 경우에는 잔여변수가 0의 값을 가지고 있는 공정 B와 제품 P의 수요가 제약요소에 해당된다.

최대화 $Z = 45P + 60Q$

제약조건

- 1) $15P + 10Q \leq 2400$
(공정 A의 생산능력)
- 2) $15P + 30Q \leq 2400$
(공정 B의 생산능력)
- 3) $15P + 5Q \leq 2400$
(공정 C의 생산능력)

4) $10P + 5Q \leq 2400$
(공정 D의 생산능력)

5) $P \leq 100$
(제품 P의 시장수요)

6) $Q \leq 90$ (제품 Q의 시장수요)
 $P, Q \geq 0$

단계 2 : 제약요소를 최적 이용할 수 있는가를 결정하라.

제약이론의 두 번째 분석단계는 첫 번째 분석단계에서 발견된 제약요소를 최적 이용할 수 있는 방법을 결정하여 이윤을 극대화할 수 있도록 제품구성을 결정하는 것이다. 제약이론에서는 제약자원 단위당 공헌도를 계산하여 제약요소를 최적 이용할 수 있게 한다. 본 예에서 살펴보면 Luebbe and Finch가 제시한 바와 같이, 제품 P의 제약자원 단위당 공헌도가 제품 Q의 제약자원 단위당 공헌도

〈표 2〉 선형계획법의 해

기저변수	우 변 상 수	P	Q	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆
S ₁	600.0	.00	.00	1.00	-.333	.00	.00	-10.00	.00
P	100.0	1.00	.00	.00	.000	.00	.00	1.00	.00
S ₃	750.0	.00	.00	.00	-.167	1.00	.00	-12.50	.00
S ₄	1250.0	.00	.00	.00	-.167	.00	1.00	-7.50	.00
S ₆	20.0	.00	.00	.00	.033	.00	.00	.50	1.00
Q	30.0	.00	1.00	.00	.033	.00	.00	-.50	.00
C _J - Z _J	6300.0	.00	.00	.00	-2.00	.00	.00	-15.00	.00

보다 크기 때문에 제약요소를 최적 이용하기 위한 의사결정은 제품 P를 가능한 최대 생산하고 제품 P 생산 후 남은 여유생산시간으로 제품 Q를 생산한다.¹⁾ 구체적으로 설명하면, 제품 P의 주간 최대 수요량은 100 단위이므로 제약요소인 공정 B는 제품 P를 생산하기 위해 1,500분을 소요한다. (제품 P 단위당 공정 B의 가공시간 × 생산량 = 15분 × 100 = 1,500분). 공정 B의 생산능력은 2,400분이므로 제품 P의 수요를 만족시킨 후 남은 생산능력은 900분이 된다. 따라서, 제품 Q의 경우 공정 B는 단위당 30분을 필요로 함으로 30단위의 제품 Q를 생산할 수 있다. 결과적으로, 최적제품구성은 제약요소인 공정 B의 생산능력을 최적 이용하여 제품 P 100 단위와 제품 Q 30단위를 생산하며 이윤은 극대화되어 \$6,300이 된다.

반면에 선형계획이론에서는 심플렉스 방법에 의하여 해가 구해지며 본 예제의 경우에는 제약이론에서의 해와 같은 값이 도출된다.

단계 3: 단계 2의 결정에 다른 모든 기업활동을 종속시켜라.

제약이론의 3 단계 의사결정 과정의 목적은 제약요소를 최대한 이용할 수 있도록 다른 모든 생산활동이 이를 뒷받침하는 것으로 이러한 것의 예로는 원자재의 구매(양과 시기), 원자재를 투입하는 시기 등과 같은 생산활동이 포함된다. Luebbe and Finch에서 제시된 바와 같이 제약이론은 단계 2에서 결정된 제품구성에 모든 생산활동을 종속시키기 위해 일정계획법인 Drum-Buffer-Rope (DBR)를 제공하고 있다. DBR 일정계획법은 애로공정인 공정 B에서 필요로 하는 재공품을 적시에 공급받

을 수 있도록 생산라인에 원자재를 적절한 시기에 투입하는 기법으로 복잡하고 실질적인 기업의 일정 계획에 적용할 수 있다. 이 방법에서는 원자재의 투입비율은 애로공정의 산출비율의 함수가 된다.

한편 Luebbe and Finch는 선형계획이론은 일정 계획에 아무런 도움도 주지 못 한다고 주장한다.

단계4: 제약요소를 개선하는 방안을 모색하라.

조직의 성과를 개선시키기 위하여 제약조건을 향상시킬 필요가 있으며 이러한 제약조건의 향상이 조직의 성과에 미치는 영향을 분석할 필요가 있다. 그런데 Luebbe and Finch는 제약조건이 향상됨으로써 기업에 주는 영향을 제시함에 있어서 제약이론이 선형계획이론보다 더 구체적이라고 설명한다. 본 예제에서 볼 것 같으면, 선형계획이론에서 두 번째 제약조건의 그림자가격이라고 하는 것은 B의 생산능력이 1분 증가됨으로써 이윤이 \$2 만큼 증가된다는 것을 보여주지만, 제약이론에서는 이러한 정보 이외에도 이 이윤이 어느 제품, 즉 제품 Q를 통하여 도출되는지를 보여준다는 것이다. 그러나 LP도 TOC와 동일한 정보를 제공할 수 있는 바, <표 2>을 통해서 볼 것 같으면, S2 열 아래의 한계대체비율의 값 중에서 제품 P에 해당하는 값은 0이고 제품 Q에 해당하는 값은 0.033이기 때문에 공정 B의 생산능력의 증가가 이윤에 미치는 영향이 제품 Q에 의해서 달성될 수 있다는 것을 알 수 있다.

단계5: 단계4에서 제약요소가 개선되었으면 단계1로 가라.

(단, 개선된 제약요소가 다시 제약요소 되지 않도록 유의하라.)

1) 제약자원단위당공헌도 계산결과는 Luebbe and Finch (1992)에 잘 나타나 있음으로 이를 참조하길 바란다. 또한 시나리오1에서 계산방법을 설명하기 때문에 여기서는 계산방법을 생략하였다.

단계 5를 통하여 계약이론은 계속 향상의 과정을 중시한다고 Luebbe and Finch는 기술하고 있으나 선형계획이론에 대하여는 아무런 언급을 하고 있지 않다.

3.2 Luebbe and Finch 연구의 문제점

전술된 바와 같이 Luebbe and Finch는 선형계획이론과 계약이론을 비교한 것이 아니라 단지 선형계획이론을 계약이론의 5단계 과정에 의하여 설명하는데 불과하다. 즉, 계약이론의 1단계인 제약요소 발견의 경우에는 선형계획이론은 잔여변수의 값을 사용할 수 있고, 2단계인 제약요소의 최적이용의 경우에는 선형계획이론은 심플렉스방법을 통하여 해를 구하며, 3단계의 경우에는 계약이론은 DBR이라는 생산일정계획을 제시하지만 선형계획이론은 그렇지 못하며, 4단계의 경우엔 계약이론이 선형계획이론에 비하여 보다 구체적으로 제약조건의 완화가 갖는 의미를 제시하며²⁾ 5단계에서는 계약이론은 지속적인 개선을 추구하지만 선형계획이론은 1회성의 성격을 갖는 것처럼 기술하고 있다.

따라서 Luebbe and Finch는 3, 4, 5단계의 관점에서 볼 때 계약이론이 선형계획이론보다 현실적 의미가 풍부한 것으로 인식한다. 그러나 Luebbe and Finch는 두 이론을 비교하기 위한 비교기준을 설정하지 않았으며, 따라서 설정된 기준에서 볼 때 어느 이론이 보다 우월한지를 제시하지 않았다. 이러한 점을 인식하여 본 연구는 두 이론을 비교하기 위한 기준으로서 두 이론이 기초하고 있는 논리의 타당성과 두 이론으로부터 도출되는 해 및 현실적 의미의 풍부성을 비교기준으로 설

정하고 이 기준 하에서 두 이론의 상대적 우월성을 비교·분석한다.

IV. 계약이론과 선형계획이론의 상호 비교

본 장에서는 기존 연구에서 사용된 제품믹스문제를 중심으로 계약이론과 선형계획이론을 논리적 타당성 (내적 타당성), 도출해의 우월성 (외적 타당성), 해의 접근성 및 현실적 의미의 풍부성의 관점에서 비교·분석한다.

4.1. 논리적 타당성

계약이론은 지속적인 개선의 철학으로 의사결정수단으로 5 단계 의사결정방법을 제시하는데 반하여, 선형계획이론은 경영과학적 방법으로 최적화 기법 (optimization technique)을 제공하고 있다. 따라서, 주어진 생산환경에서 제품구성의 최적화를 달성하는데 두 이론을 모두 사용할 수 있으나 두 이론의 직접적인 비교가 가능한지에 대한 논의가 필요하다고 할 수 있다.

의사결정수단으로서의 TOC와 LP는 주어진 제약조건하에서 의사결정문제에 대한 최적해를 구한다는 점에서 유사성이 있다. 그런데 최적해를 구함에 있어서 두 이론이 기초하고 있는 기본가정과 두 이론이 사용하는 논리적 과정이 상이한 바 이를 살펴보면 다음과 같다.

TOC와 LP의 기본 가정을 비교하면, LP는 다음 몇 가지의 가정이 성립하여야 의사결정수단으로 이용

2) 이 주장은 전술하였듯이 잘못된 것으로 사료됨.

될 수 있다: (1) 해결하고자 하는 문제에 대한 목적(Goal)이 수학적 단일 함수로 나타낼 수 있어야 한다. (2) 목적을 달성하는데 제약을 하는 요소가 존재하여야 하며 이를 제약조건식으로 나타낼 수 있어야 한다. (3) 목적함수나 제약조건식에 사용되는 의사결정변수 사이에 선형관계(linear relationship)가 존재하여야 한다. (4) 총자원의 사용량이나 목적함수에 대한 총생산제품의 공헌도는 항상 개별 자원의 사용량의 합이나 개별제품의 목적함수에 대한 공헌도의 합과 같다는 가산성(additivity)에 근거한다. (5) 의사결정변수의 값은 비부수이지만 소수 값을 취할 수 있다. 이에 반하여, TOC의 기본 가정은 (1) 시스템의 경영성과(output)는 제약요소에 의해 결정되며 (2) 시스템의 경영성과는 하나의 목표로 구체화되어야 한다는 것이다.

위의 기본가정을 비교해 보면 LP의 기본가정이 TOC의 기본가정보다 더 제한적인 것 같으나, TOC의 의사결정수단인 부과-능력이나 제약자원단위당공헌도를 계산하기 위해서는 LP의 기본가정(3), (4), (5)가 전제되어야만 가능하므로 TOC의 두 가지 가정은 LP의 5 가지 가정과 동일하다고 할 수 있다. 다시 말하면, TOC의 가정은 구체적인 않지만, TOC의 단계적 의사결정수단에 LP의 기본 가정이 내재되어 있고 따라서, TOC의 의사결정 틀(frame)은 LP와 동일한 모형구조를 갖고 있다고 할 것이다.

이와 더불어, 의사결정자는 전통적으로 선형계획이론은 의사결정문제의 지속적인 개선을 위한 의사결정수단을 제공하기보다는 일회성의 최적해를 도출하는 방법이라고 인식하고 있는데 반하여 제약이론은 기업이 지속적인 개선을 추구할 수 있도록 하는 방법이라고 인식하고 있다. 분명한 것은 제약이론의 다섯 번째 의사결정은 제약이론을 휴리스틱

방법(heuristic technique)이나 선형계획이론과 구별되게 하는 요소이며 제약이론에서 가장 핵심적인 요소이다.

하지만, 선형계획이론에서 제시하고 있는 최적해 분석과 민감도분석, 매개변수분석 등과 같은 의사결정수단을 사용하면 선형계획이론에서도 의사결정문제의 지속적 개선을 추구하는 수단을 제공한다고 볼 수 있다. 예를 들어, 선형계획이론에서 민감도 분석이나 매개변수분석을 사용하면 현재의 최적해가 그대로 유지될 수 있는 변수의 최대허용변화범위(maximum allowable range)를 알 수 있다. 이때, 최대허용변화범위를 넘어서는 변화는 심플렉스표의 $C_j - Z_j$ 열에 현재의 최적해가 실현 불가능하게 되므로 적어도 현 속박제약조건식 중의 하나가 개선되었음을 알 수 있다. 이 경우는 심플렉스표상에서 다시 피벗(pivoting)을 하여 최적해를 도출하면 본 연구에서 논의한 방법에 의해 새로운 제약요소를 발견할 수 있다. 따라서 선형계획이론에 있어서 단계 1과 단계 5의 의사결정수단은 동일하며, 이를 통해 지속적인 개선을 추구한다. 이는 최적해가 아닌 $C_j - Z_j$ 열의 값은 단계5 의사결정과정이며 속박제약요소를 발견하는 과정은 단계1 의사결정과정이다.

따라서 본 연구는 두 이론이 모두 제약요소를 최적화하려는 목적을 갖고 있으며, 그 기본가정이 유사하며 의사결정문제의 지속적인 개선을 위한 의사결정수단을 제공한다는 점에서 선형계획이론의 의사결정수단과 제약이론의 5 단계 의사결정방법의 직접적인 비교가 가능하다고 할 수 있다.

4.2. 도출해의 우월성

3장에서 제시된 예제를 사용하여 두 이론이 사

용하는 논리적 과정을 살펴보면, TOC는 생산능력을 제한하는 기업내부의 제약요소를 찾고 이 제약요소를 최적 이용하기 위하여 제약요소단위당공헌도가 높은 제품을 최대한 생산한 후에 생산여력이 있으면 나머지 제품을 생산하게 한다. 그런데, 제약요소가 한 가지인 경우에는 이 제약요소를 최적 이용하기 위해서는 제약요소단위당공헌도가 높은 제품을 시장수요가 허락하는 한 최대한 생산하는 것이 기업이윤을 극대화하는 전략이 된다. 그러나, 기업내부의 제약요소가 두 가지 이상인 경우에는 TOC의 의사결정은 부적절한 결과를 가져올 수 있는 바 이를 설명하기 위하여 다음의 두 상황을 예로 든다.

첫째, 생산능력 A와 B 두 가지 모두가 제약요소라고 가정할 때, 제품 P와 Q의 A 제약요소 단위당 공헌도가 각각 50, 70이고 B 제약요소 단위당 공헌도가 각각 10, 20인 경우에는 제품 Q가 두 제약요소 모두에 있어서 제약요소단위당공헌도가 제품 P보다 높기 때문에 제품 Q를 최대한 생산한 후에 생산여력이 존재하면 제품 P를 생산한다. 결국, 이 경우는 기업내부의 제약요소가 한 가지인 경우와 동일하며 TOC에 의한 해는 최적이 된다.

둘째, 생산능력 A와 B 두 가지 모두가 제약요소라고 가정할 때, 제품 P와 Q의 A 제약요소 단위당 공헌도가 각각 70, 50이고 B 제약요소 단위당 공헌도가 각각 10, 20인 경우에는 제약요소 A의 관점에서는 제품 P의 제약요소단위당공헌도가 제품 Q보다 높기 때문에 제품 P를 최대한 생산하여야 하나 제약요소 B의 관점에서는 제품 Q의 제약요소단위당공헌도가 제품 P보다 높기 때문에 제품 Q를 최대한 생산하여야 한다. 그런데, 이러한 경우에 TOC는 어떤 제약요소의 관점에서 의사결정을 하여야 하는지에 대한 아무런 논리적 근거도 제시하지 못하고 있다.

반면에 LP는 최적해를 구하기 위하여 제약조건의 교차점에 해당되는 꼭지점을 찾은 후에 이들 꼭지점이 제시하는 해를 비교하여 최적 꼭지점을 찾는다. 따라서 최적해가 존재하기 위해서는 최적 꼭지점이 반드시 존재하여야 한다. 그런데, 하나의 속박제약조건은 최적 꼭지점을 가질 수 없기 때문에 LP에서는 TOC의 제약요소에 해당되는 속박제약조건이 적어도 두 가지 이상이어야 한다.

LP가 두 가지 속박제약조건을 인정하고 TOC가 하나의 제약요소에 초점을 맞추기 때문에 의사결정 상황에 따라 LP와 TOC는 상이한 해를 가져올 수 있다. 본 3장에서 이용된 예제의 경우에는 LP가 두 개의 속박제약조건이 있었지만 이 중에 하나는 제품수요라는 기업외부제약조건이므로 생산활동이라는 점에서는 LP와 TOC가 공히 한 가지 내부제약요소를 최적 이용하기 때문에 동일한 해를 가질 수 있었다. 다른 관점에서 보면, TOC의 부과능력을 계산하는 과정에 있어서 외부수요가 고려되었기 때문에 LP의 두 가지 속박제약조건은 실질적으로는 TOC의 한 제약요소 해당한다고 할 수 있다.

그러나, LP의 두 가지 속박제약조건이 모두 기업내부제약조건인 경우에는 LP는 TOC에 비하여 최적의 해를 가질 수 있는 바 그 이유는 해를 구하는 과정이 상이하기 때문이다. LP에 있어서는 제약조건의 교차점에 해당되는 모든 꼭지점을 고려한 후에 이들 꼭지점이 제시하는 해를 비교하여 최적 꼭지점을 찾는다. 그런데, 이 최적 꼭지점을 형성하는 두 가지 제약조건을 속박제약조건이라고 칭하는 바, 따라서 LP에서는 최적해를 구하기 위하여 반드시 두 가지 속박제약조건이 존재하여야 하며 또한 이들이 동시에 함께 이용되어야 한다. 이에 반하여 TOC는 두 가지 제약요소를 함께 고려하지 않고 각각의 제약요소를 배타적으로 이용하여 각각

의 제약요소의 제약자원 단위당 공헌도의 관점에서 의사결정을 한다. 그런데, 본 절에서 든 예에서처럼 첫 번째 제약요소의 제약자원 단위당 공헌도는 제품 P가 높고, 두 번째 제약요소의 제약자원 단위당 공헌도는 다른 제품이 높은 상황에서는 TOC는 어떤 제약요소의 관점에서 의사결정을 하여야 하는지에 대한 아무런 논리적 근거도 제시하지 못한다. 결론적으로, LP는 두 가지 내부제약조건을 동시에 고려하지만 TOC는 두 제약요소를 배타적으로 이용하여 한 제약요소에만 초점을 둔 의사결정을 하기 때문에 LP에 비하여 부적절한 해를 제시할 가능성이 있다.

TOC가 사용하는 논리적 과정에는 전술한 바와 같은 문제점이 있기 때문에 어떤 의사결정상황에서는 TOC는 LP에 비하여 부적절한 해를 제시할 수 있음을 살펴보기 위하여 다음의 시나리오를 이용하여 TOC와 LP의 도출해를 비교한다.

TOC에 의한 최적해를 도출하기 위하여 부과-능력분석을 사용한 결과를 살펴보면 <표3>과 같다.

<표 3>에서 보는 바와 같이 시나리오1의 경우 공정 B 뿐만 아니라 공정 A도 제품 P와 제품 Q의 주당 수요를 충족시키기에 불충분한 생산능력시간을 갖고 있기 때문에 모두 제약요소가 됨을 알 수 있다. 이러한 두 가지 제약요소를 최적으로 이용하여 이윤을 극대화시키는 제품구성을 결정하기 위하여 제약요소단위당공헌도를 계산하여야 하며 그 결과는 <표 4>와 같게 된다. 시나리오1의 경우, 공정 A의 생산능력과 공정 B의 생산능력이라는 두 가지 제약요소가 존재함으로 공헌도분석은 각각의 제약요소에 대해 행해져야 한다.

<표 4>에서 보는 바와 같이 공정 A의 경우 제약요소단위당공헌도는 제품 P의 경우 1.5, 제품 Q의 경우 6.0이 되며, 공정 B의 경우 제품 P는 3.0, 제품 Q는 2.0이 된다. 따라서, <표 4>의 결

시나리오 1 : 주어진 예제의 생산환경이 다음과 같이 변화하였다고 가정한다.
 제품 Q의 주당시장수요: 70 단위
 공정 A가 제품 P 한 단위 생산에 소요되는 시간 : 30 분
 다른 모든 생산요소는 원래의 예제와 같다고 가정함.

<표 3> 100P와 70Q의 주당 수요에 근거한 시나리오1의 주당부과율

공정	주당제품별필요시간		총주당필요시간 (1)	주당생산능력시간 (2)	주당부과율 (1 ÷ 2)
	P	Q			
A	3000	700	3700	2400	154%
B	1500	2100	3600	2400	150%
C	1500	350	1850	2400	77%
D	150	350	1850	2400	77%

〈표 4〉 시나리오 1의 제약요인단위당공헌도

제품	P	Q
판매가격	90	100
원자재 비용	45	40
공헌도	45	60
제약요인 단위당공헌도	$45 / 30 = 1.5$	$60 / 10 = 6.0$
공정 A	$45 / 15 = 3.0$	$60 / 30 = 2.0$
고정 B		

과를 바탕으로 제품구성을 하면 다음의 두 가지 상호 배타적인 대안이 나오게 된다: (1) 제약요소인 공정 A를 최적 이용하기 위해서는 제품 Q를 최대한 생산하고 여유생산시간이 존재하면 제품 P 생산에 투입한다. (2) 제약요소인 공정 B를 최적 이용하기 위해 제품 P를 최대한 생산하고 여유생산시간이 존재하면 제품 Q의 생산에 투입한다.

TOC가 대안 선택에 관한 아무런 기준을 제시하지 못하기 때문에 대안을 선택하기 위하여 각 대안별로 이윤에 대한 공헌도를 살펴보면 아래와 같다.

(1) $Q = 70$ $P = 20$
이윤에 대한 공헌도 = 5,100

(2) $Q = 0$ $P = 80$
이윤에 대한 공헌도 = 3,600

이러한 결과를 바탕으로 TOC 하에서는 첫 번째 경우의 이윤에 대한 공헌도가 두 번째 경우의 이윤에 대한 공헌도보다 크기 때문에 첫 번째 대안, 즉 70 단위의 제품 Q와 20 단위의 제품 P 생산을 택하여 5,100의 이윤에 대한 공헌도를 갖는다. 그러나, TOC에서 제시된 이 두 가지 경우 모두 최

적해를 제공하지 못하는 바 LP를 이용한 제품구성 및 이윤에 대한 공헌도는 아래와 같다.

$Q = 48$ $P = 64$
이윤에 대한 공헌도 = 5,760

시나리오1에서 보는 바와 같이 두 가지 제약요소가 존재하는 경우 TOC는 두 제약요소를 배타적으로 고려하여 개별 제약요소의 관점에서 제품구성을 제시하나 LP는 두 제약요소를 함께 고려하기 때문에 TOC에 비하여 우월한 해를 도출한다. 더 나아가, 만일 예제와 같은 제품구성문제에 있어 제품 P의 주당수요가 200단위, 제품 Q의 주당수요가 150 단위로 증가하였다고 가정하면, 모든 공정(공정 A, B, C, D)의 생산능력시간이 제품의 수요에 대응하기에 절대적으로 부족하게 되어 TOC의 부과-능력분석과 제약요인단위당공헌도 분석은 매우 비합리적이 되며, 잘못된 의사결정을 내리게 된다.

결론적으로, 내부제약조건이 하나인 경우에는 TOC와 LP 모두 한 가지 내부제약요소를 최적 이용하기 때문에 TOC의 제약자원 단위당 공헌도 분석에 의한 해의 값은 LP와 동일하다. 그러나, 내

부제약조건이 두 가지 이상인 경우는 LP는 이 제약요소들을 동시에 이용하나 TOC는 각각을 배타적으로 이용하기 때문에 LP에 비하여 부적절한 해를 제시할 가능성이 있다.

4.3. 해의 접근성

일반적으로 많은 의사결정자들은 의사결정 수단을 선택하고자 할 때, 제약이론과 같은 비계량적인 방법을 선형계획이론과 같은 계량적인 방법보다 선호한다. 예를 들면, 의사결정자가 제약이론을 선택하면, 제약이론은 제약요소단위당공헌도라는 의사결정수단을 사용하고 있으며 단순한 산술계산만을 사용하여 최적제품구성을 달성할 수 있을 뿐만 아니라 그 해를 실천에 옮기는 경우에도 문제가 없는 정수해를 반드시 보장한다. 또한 의사결정자가 논리적으로 의사결정과정의 내용을 충분히 인식할 수 있다는 장점이 있다. 이에 반하여, 선형계획이론의 심플렉스방법은 해를 도출하는 과정에 주로 컴퓨터 프로그램을 사용해야만 하기 때문에 의사결정자가 여러 계량적 지식을 갖고 있지 않다면 그 결과를 이해하기가 쉽지 않다. 또한 심플렉스 방법에서 제공되는 해는 정수해를 보장하지 못하기 때문에 이를 실천에 옮기는데 문제가 있다. 따라서, Luebbe와 Finch(1992)는 의사결정과정에서 종업원의 참여를 강조하면서 제약이론이 선형계획이론보다 종업원이 이해하기 쉽고, 쉽게 받아들일 수 있는 방법이라고 주장하였다.

그러나, 본 논문에서 제시한 두 가지 제품의 구성을 결정하는 문제를 확장하는 경우에도 위의 논의가 그대로 적용될 수 있을지는 의문이다. 예를 들어, 본 예제에서는 제품 P와 제품 Q의 수요가 일정하다는 가정 하에 제약이론의 경우 부과-능력

분석, 선형계획이론의 심플렉스방법으로 고정적인 제품구성을 발견하였다. 그러나 만일 다기간(multiperiod)동안 10개 이상의 제품들의 수요가 변동한다면, 제약요소가 일정하지 않고 기간별로 변동하는 이동제약요소(floating bottleneck)가 발생할 가능성이 존재한다. 즉 제약요소는 주어진 기간의 제품구성에 따라 변동하게 된다. 이러한 경우에는 제약이론으로는 정확하게 제약요소를 발견하기가 쉽지 않으며 매 기간별로 부과-능력 분석을 수행하여야만 한다. 그러나, 선형계획법을 사용하는 경우, 생산능력에 따라 기간별로 제품구성을 결정할 수 있으며 이에 따른 제약요소를 발견할 수 있다. 따라서, 선형계획이론은 많은 현실적인 문제에서 최적해를 보장한다.

많은 경우, 선형계획이론이 제공하는 해는 정수해가 아닌 것은 사실이다. 그러나, LP로 최적해를 구한 다음, 소수점을 버린다 할 지라도 그 해는 생산능력 범위 안에 있기 때문에 최적은 아닐지라도 적정해를 보장하기에 이 해를 실천하는데도 별 무리가 없다. 또한 제약이론의 도출해가 반드시 최적을 보장하지 않기 때문에, 해의 소수부분을 버린다 할 지라도 별 무리가 없다.

결론적으로, 해의 접근성 측면에서 제약이론은 의사결정과정에 생산관리자가 직접 참여할 수 있으며 간단한 계산만으로 해를 도출할 수 있는 장점이 있는 것은 사실이다. 그러나, 이동제약요소가 발생하는 경우와 같이 생산환경이 복잡해지면 제약이론의 의사결정기법을 사용하기가 어렵게 되며 최적해를 구하기 위해서는 LP를 사용해야만 한다. 또한 LP 프로그램의 빠른 계산능력, user-friendly한 그래픽 인터페이스 등이 의사결정자로부터 하여금 LP를 선택할 수 있는 좋은 이유를 제공한다고 볼 수 있다.

4.4. 현실적응상의 풍부성

의사결정자는 제품 믹스 문제에 두 이론 중 어느 한 이론을 적용하여 최적해를 도출하는 경우 다음 단계로 제약요소를 개선하는 방안을 강구하게 되며 그에 따른 생산환경의 변화가 기업의 목적에 미치는 영향을 알고자 한다. 따라서, 두 이론이 제시하고 있는 의사결정방법이 갖고 있는 현실적 의미를 중심으로 두 이론을 비교할 필요성이 있다. Luebbe and Finch는 DBR이라는 생산일정계획, 지속적인 개선 가능성 등을 들어 TOC가 LP보다 현실적 의미가 풍부하다고 주장하였으나 다음의 예에서 보듯이 다른 측면에서는 LP가 TOC가 제공하지 못하는 현실적 의미를 갖는다.

4.4.1. 시나리오 2

시나리오 2를 살펴보면, 원래의 예제에서 두 가지 변수가 변화하였음을 알 수 있다. 즉, 목적함수의 계수(i.e. 제품 P의 단위당 공헌도)가 \$45에서 \$43으로 변화하였고 다섯 번째 제약조건(제품 P의 시장수요)의 우변상수값이 100에서 130으로 변화하였다. 이러한 변화가 제품구성에 미치는 영향을 파악하기 위하여 TOC와 LP가 어떻게 접근하는지를 살펴보면 다음과 같다.

첫째, LP의 경우, 두 변수의 변화가 기저변수에 미치는 영향을 고려하여, 심플렉스방법에 의한 최적해 도출과정을 다시 시행하여야 하는지 혹은 민감도 분석으로 최적해를 구할 수 있는지를 결정하여야 한다. 민감도분석은 사후분석방법으로 기저변수를 변화시키지 않는 각 변수의 최대 증가 혹은 최대 감소의 허용 범위를 제시한다. <표 5>는 원

시나리오 2 : 주어진 예제의 생산환경이 다음과 같이 변화하였다고 가정한다.
 제품 P에 대한 수요를 증진시키기 위해 제품 P의 판매가격을 \$90에서 \$88으로 낮추었더니 제품 P의 주당수요가 100개에서 130개로 증가되었다.
 다른 모든 생산 요소는 원래의 예제와 같다고 가정한다.

<표 5> 민감도 분석

Parameter	Current Value	범위	
		최대감소	최대증가
단위당 공헌도 (P)	\$ 45	15	ir.finity
단위당 공헌도 (Q)	\$ 60	60	30
공정 A 생산능력시간	2,400.00	600.0	ir.finity
공정 B 생산능력시간	2,400.00	900.0	600.00
공정 C 생산능력시간	2,400.00	750.0	ir.finity
공정 D 생산능력시간	2,400.00	1250.0	ir.finity
제품 P의 수요	100(개)	40.0	60.0
제품 Q의 수요	50(개)	20.0	ir.finity

예제에 대한 민감도 분석의 결과로서 목적함수 계수의 변화(제품 P와 제품 Q의 가격), 공정 A, B, C, D의 생산능력시간의 변화, 그리고 제품 P, 제품 Q의 수요에 대한 변화가 기저변수에 미치는 영향을 나타내고 있다.

예를 들어, 시나리오2와 같이 제품 P의 단위당 공헌도가 \$2 감소한 것은 단위당 공헌도의 최대 허용 감소치인 \$15이내에 포함되고 또한 제품 P의 수요가 30 단위 증가한 것은 제품 P 수요의 최대 허용 증가치에 포함되기 때문에 다시 수리적으로 모형화하여 심플렉스방법에 의한 최적화 과정으로 최적해를 도출할 필요 없이 민감도 분석에 의해 새로운 최적해를 도출할 수 있다. 민감도분석을 시나리오2에 적용해보면 다음과 같다. 즉, 제품 P의 판매가격의 변화 및 수요량의 변화가 <표 5>의 민감도 분석의 허용 범위 안에 있음으로, <표 2>에 나타난 기저변수는 불변이다. 새로운 최적해는 <표 2>의 S5행에 있는 한계대체비율을 사용하여 구

해지며 그 절차는 다음과 같다.

위의 <표 6>의 결과에 의하면, 새로운 제품구성은 $P = 130, Q = 15$ 가 되며 이윤에 대한 공헌도는 \$6,490 ($= 130 \times 43 + 15 \times 60$)이 된다. 이와 같이 LP에서는 민감도분석을 사용함으로써 다시 문제를 모형화하지 않고 제품 P의 판매 가격의 변화 및 수요변화에 대한 영향을 평가할 수 있다.

둘째, TOC의 경우, 생산환경에 대한 부과-능력 분석에 의한 제약요소의 발견, 제약요소단위당공헌도 분석을 다시 시행하여야 하며 그 계산 결과는 <표 7>, <표 8>과 같다.

<표 7>에 의하면, 생산환경의 변화에 따라 기존의 제약요소인 공정 B의 생산능력과 더불어 공정 A의 생산능력도 제품 P와 제품 Q의 주당 수요를 충족시키기에 불충분한 생산능력시간을 갖고 있기 때문에 제약요소가 됨을 알 수 있다. 시나리오1과 같이 두 제약요소에 대한 공헌도를 계산한 결과가 <표 8>에 나타나 있다.

<표 6> 민감도분석에 의한 새로운 최적해의 도출

기저변수	원래의 최적해	대체요소	한계대체비율	새로운 최적해
S1	600	+ 30 x	-10.0	300
P	100		1.0	130
S3	750		-12.5	375
S4	1250		-7.5	1025
S6	20		0.5	35
Q	30		-0.5	15

<표 7> 시나리오2의 부과-능력분석

공정	주당제품별필요시간		총주당필요시간 (1)	주당생산능력시간 (2)	주당부과율 (1) ÷ (2)
	P	Q			
A	1950	500	2450	2400	102%
B	1950	1500	3450	2400	144%
C	1300	750	2050	2400	85%
D	1300	250	1550	2400	65%

〈표 8〉 시나리오2의 제약요인단위당공헌도

제품	P	Q
판매가격	88	100
원자재 비용	45	40
공헌도	43	60
제약요인 단위당공헌도		
공정 A	$43 / 15 = 2.87$	$60 / 10 = 6.0$
공정 B	$43 / 15 = 2.87$	$60 / 30 = 2.0$

시나리오1에서 설명한 바와 같이, 제약요소인 공정 A를 최적 이용하여 제품구성을 최적화 하면 제품 Q를 50 단위 생산하고 제품 P를 60 단위 생산하게 되며 이윤에 대한 공헌도는 아래와 같아진다.

$Q = 50$	$P = 60$
이윤에 대한 공헌도 = 5,580	

또한, 제약요소인 공정 B를 최적 이용하여 제품구성을 최적화하면 제품 P를 130단위 생산하고 제품 Q는 15 단위 생산하게 된다. 이 경우, 이윤에 대한 공헌도는 아래와 같아진다.

이러한 결과를 바탕으로 TOC는 첫 번째 경우의 이윤에 대한 공헌도가 두 번째 경우의 이윤에 대한 공헌도보다 작기 때문에 두 번째 의사결정을 택한다. 다시 말하면, TOC의 최적 도출해는 제품 Q를 15 단위 생산하고 제품 P를 130 단위 생산하여 6,490의 이윤에 대한 공헌도를 갖는다.

이와 같이 시나리오2에서 TOC와 LP가 제시하

$Q = 15$	$P = 130$
이윤에 대한 공헌도 = 6,490	

고 있는 도출해를 비교하면 두 이론이 동일한 도출해를 제시하고 있기 때문에 무차별하다고 할 수 있으나 새로운 도출해를 추구하는 과정을 비교하면 서로 다른 점을 발견할 수 있다. 즉, TOC는 의사결정자가 내부생산환경요인의 변화가 제품구성 및 이윤에 미치는 영향을 알기 위하여 다섯 단계의 절차를 처음부터 다시 시행하여야 하나 LP는 민감도 분석에 의하여 먼저 내부생산환경의 변화가 기저변수를 변화시키는 범위 내의 변화인지 아니면 그 범위를 벗어난 변화인지를 파악한 후에 만약 범위 내의 변화라면 처음부터 문제를 다시 설정하여 최적해를 도출할 필요 없이 민감도분석으로 간단히 구할 수 있다. TOC와 LP의 이러한 차이는 본 예제에서와 같이 제품 수가 2종류이고 제약조건이 6가지인 경우와 같이 간단한 경우에는 별 의미가 없으나 수 많은 제품과 제약조건이 존재하는 현실의 문제에서는 많은 차이가 있을 수 있다. 결과적으로, 여러 다양한 시나리오의 도출해를 추구하는 과정에 있어 LP가 TOC보다 문제해결의 편의성을 제공하고 있다고 할 수 있다.

4.4.2. 시나리오 3

시나리오 3 : 시나리오 2의 생산환경이 다음과 같이 변화하였다고 가정한다. 공정 B의 생산능력시간을 증대시키기 위하여 잔업을 고려한다. 다른 모든 생산요소는 시나리오 2의 예제와 같다고 가정한다.

공정 B에 대한 제약조건의 개선으로 공정 B의 준비시간 (setup time)의 단축, 잔업, 새로운 설비의 추가 등에 의하여 생산능력시간을 증가시킬 수 있으나 본 연구는 모든 공정에 준비시간을 고려하지 않았고 또한 새로운 설비의 추가는 장기적인 계획이 필요하기 때문에 잔업만을 시나리오 3에서 고려한다. 잔업시행시 고려해야 할 문제는 첫째로 잔업의 단위 시간당 근로자에게 지급될 임금을 결정해야 하며 둘째로 얼마만큼의 잔업시간을 채택하여야 하는지를 결정하는 것이다. 이를 위하여 TOC와 LP가 어떠한 의사결정수단을 제공하고 있는지를 살펴보자.

첫째, 잔업에 대한 시간당 비용을 결정하기 위하여는 제품 Q의 단위당 이윤에 대한 공헌도와 제품 Q 한 단위를 생산하는데 소요되는 공정 B의 작업시간에 대한 정보를 알아야 한다. 제품 Q의 단위당 이윤에 대한 공헌도는 LP와 TOC 모두 제품 가격에서 원가를 차감한 것으로 \$60.00로 계산하

며, 제품 Q 한 단위를 생산하는데 소요되는 공정 B의 작업시간은 LP와 TOC 모두 그림 1의 공정도를 통하여 30분인 것을 알 수 있다. 따라서 제품 Q의 단위당 이윤에 대한 공헌도가 \$60.00이고 제품 Q 한 단위를 생산하는데 소요되는 공정 B의 작업시간은 30분이기 때문에 LP와 TOC 모두 잔업에 대한 비용은 시간당 \$120.00 이하이어야 함을 제공한다.

둘째, 필요한 잔업시간을 결정하는 문제에 있어서 LP는 민감도분석을 이용하여 현재의 비속박 제약조건 중 어느 하나가 속박제약조건이 될 때까지 공정 B의 작업시간을 증가시킴으로써 필요한 잔업시간을 결정할 수 있다. 이는 다음과 같은 계산을 통해 알 수 있다.

〈표 9〉에서 보는 바와 같이 제품 Q가 30 (=45 - 15)단위 더 생산된다면, 즉 공정 B에 900 (=30 × 30)분의 잔업시간이 채택되는 시점에서 공정 A에 대한 제약조건이 새로운 속박제약조건이

〈표 9〉 시나리오3의 민감도분석에 의한 새로운 최적해의 도출

기저변수	원래의 최적해	대체요소	한계대체비용	새로운 최적해
S1	300		-0.333	300
P	130		0.000	130
S3	375		-0.167	375
S4	1025	+ 900	-0.167	1025
S6	35		-0.033	35
Q	15	x	0.033	15

됨을 알 수 있다. 따라서 LP에서는 900분의 작업시간을 채택하게 되어 P를 130단위, Q를 45단위 생산하여 \$ 8290 (= 130 × 43 + 45 × 30)의 공헌이익을 창출한다.

반면에, TOC는 필요한 작업시간을 결정하는데 있어서 <표 7>에서 보는 바와 같이 주어진 제품 수요 P 130 단위와 Q 50 단위를 만족시키기 위하여 작업을 통한 공정 B의 생산능력을 1050 (= 3450 - 2400)분 증가시키려고 할 것이다. 이때 변화된 생산능력을 고려하면 공정 A만 제약요소가 되기 때문에 공정 A의 관점에서 제약자원 단위당 공헌도가 높은 제품 Q를 최대한 생산한 후에 공정 A의 생산능력이 허용하는 범위 내에서 제품 P를 생산한다. 그 결과 제품 Q를 50단위 생산하고 제품 P는 126단위 생산하여 공헌이익은 \$ 8418 (= 43 × 126 + 60 × 50)이 된다.

공헌이익만 볼 것 같으면 TOC에 의한 해가 LP에 의한 것 보다 더 높은 이윤을 창출하는 것 같으나 TOC는 높은 공헌이익을 창출하기 위하여 LP보다 많은 작업시간 (1050분 > 900분)을 고용하였으므로 작업시간의 비용을 고려한 후의 이윤은 작업시간 당 임금에 의하여 결정될 것이다. 즉, 작업시간당 임금을 W라고 하면 LP에서의 이윤은 8290 - 15W가 되고 TOC의 이윤은 8418 - 17.5W가 된다. 따라서 작업시간당 임금이 \$ 51.2보다 큰 경우에는 LP가 TOC보다 높은 이윤을 창출하며 반대의 경우에는 TOC가 LP보다 높은 이윤을 창출함을 알 수 있다.

V. 요약 및 결론

의사결정수단으로서 전통적으로 사용된 선형계획이론과 최근 새로이 그 중요성이 점차 증대되고 있는 제약이론 사이의 상대적 우월성에 관한 많은 비교연구가 행해져 왔으나 아직까지 어느 이론이 더 우월한지에 대해 의견이 분분한 실정이다. 뿐만 아니라 기존연구는 어떠한 기준에서 두 이론을 비교하였는지를 분명히 제시하지 못 하였다. 이 점을 인식하여 본 연구는 선형계획이론과 제약이론을 논리적 타당성의 관점에서 분석한 후, 세 가지 사례를 이용하여 두 이론이 갖는 도출해의 우월성, 해의 접근성과 현실적 의미의 풍부성을 비교, 분석하였다. 본 연구의 결론은 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, LP의 속박제약조건이 두 가지 이상이고 이러한 속박제약조건 중에서 하나를 제외한 나머지 모두가 기업 외부의 제약조건인 경우에는 TOC와 LP는 동일한 해를 제공한다.

둘째, LP의 속박제약조건이 두 가지 이상이고 이러한 속박제약조건이 모두 기업내부의 제약조건인 경우에는 해를 구하는 과정이 상이하기 때문에 LP는 TOC에 비하여 최적의 해를 가질 수 있다. LP에 있어서는 제약조건의 교차점에 해당되는 꼭지점을 고려하지만 TOC는 여러 제약요소를 동시에 고려하지 못 하고 한 가지 제약요소에만 초점을 맞추어 의사결정을 하기 때문에 LP에 비하여 부적절한 해를 제시할 가능성이 있다.

셋째, 다양한 시나리오의 도출해를 구하는 과정에 있어 LP가 TOC보다 문제해결의 편의성을 제공한다.

넷째, 본 예제에서 다룬 작업시간의 결정과 같은 어떤 의사결정상황에서는 작업시간 당 임금과 같은

특수 변수가 어떤 값을 취하느냐에 따라서 TOC와 LP 해의 우월성은 달라질 수 있다.

이런 결과들은 경영환경이 복잡해짐에 따라 의사결정 기법으로서 제약이론의 단순한 산술계산으로서 제약요소를 발견하기 어렵다는 점과 LP 프로그램의 빠른 계산능력, user-friendly한 인터페이스와 더불어 의사결정자로 하여금 LP를 선택할 수 있는 좋은 이유를 제공한다.

제한된 제품구성문제에 대한 두 이론의 비교 결과에 따른 본 연구를 일반적인 경우로 연장시키기 위해서는 더 많은 의사결정문제에 대한 두 이론의 비교가 필요하다고 할 수 있다. 특히 추후의 연구에서 제약이론의 상대적 장점으로 알려진 정성적인 자료(생산관리자의 실제 경험)를 바탕으로 한 연구가 고려되어야 한다.

참 고 문 헌

이 상문 (1994), *경영과학론*, 법문사.
 Bazarra, M. S., J. J. Jarvis, and H. D. Sherali (1990), *Linear Programming and Network Flows*, NY, John Wiley & Sons.
 Goldratt, E. M. and R. E. Fox (1986), *The Race*, Croton-on-Hudson, NY, North River Press.
 Goldratt, E. M. (1990), *The Haystack Syndrome*, Croton-on-Hudson, NY, North River Press.
 Lee, T. N. and G. Plenert (1993), "Optimizing Theory of Constraints When New Product Alternatives Exist," *Production and Inventory Management Journal*, 34, 3, 51-57.
 Luebbe, R. and B. Finch (1992), "Theory of Constraints and Linear Programming: A Comparison," *International Journal of Production Research*,

30, 6, 1471-1478.

Posnack, A. J. (1994), "Theory of Constraints: Improper Application Yield Improper Conclusions," *Production and Inventory Management Journal*, 35, 1, 85-86.
 Umble, M. M. and M. L. Srikanth (1990), *Synchronous Manufacturing*, South-Western Publishing Co.

A Comparison of Theory of Constraints and Linear Programming as Decision Making Tools

Seonmin Kim*, Gwanghoon Park**

Abstract

The purpose of this study is to compare linear programming (LP) with the theory of constraints (TOC) as decision making tools. Specifically, since several previous studies which compared LP with the TOC did not provide comparison criterion, the paper compared LP with TOC under three comparison criterion such as logical aptness, superiority of solution, and practical scope.

In order to achieve the purpose, this paper formulates three scenarios to find out whether LP is better than the TOC, or vice versa. In each scenario, the comparison focused on the effect of reductions in capacity and demand, demand increase by reducing price, and capacity increase by using overtime on LP and TOC, respectively.

The results of the study indicated that LP had the possibility of providing better solution than TOC since TOC made a decision focused on only one constraint. LP also provided easy way of problem solving in the process of obtaining solutions in several scenarios. However, the superiority of solution depended on the value of specific exogenous variable such as overtime.

* Department of Business Administration, Seoul National Polytechnic University

** Department of Business Administration, Seoul National Polytechnic University