

해양환경보전을 위한 광촉매 제품의 생산계획수립 해법개발

김 창 대*

The Heuristic Algorithm of Photocatalyst Production Planning for Preserving Sea Environment

Kim, Chang-Dae

< 목 차 >

- | | |
|----------------|-------------------|
| I. 서론 | 3. 수치 예제 |
| II. 생산계획 수리모델 | IV. 해법의 타당성 검증 실험 |
| 1. 기호정의 | 1. 실험 설계 |
| 2. 수리모델구축 | 2. 실험 결과 |
| III. 수리모델 해법개발 | V. 요약 및 추가연구 필요성 |
| 1. 기본개념 | 참고문헌 |
| 2. 해법절차 | |

I. 서 론

내륙지역의 도시산업화로 인해 각종 유해물질이 연안해양으로 유입되고 다양한 해양사고에 의한 유류 및 폐기물이 바다에 투기됨에 따라 해양환경생태가 지속적으로 악화되고 있다(김석구, 2002). 유엔환경개발회의(UNCED)의 아젠다 21(Agenda 21)과 1994년 11월에 발효된 유엔해양법(UNCLOS)은 이러한 문제를 전 지구적 차원의 중요한 문제로 인식하여 해양환경과 자원을 지속가능한 상태로 유지할 수 있도록 관리해야 한다는 점을 이미 오래 전부터 강조해 오고 있다(Ledoux and Turner, 2002). 또한 월드워치연구소(Worldwatch Institute)는 1995년 흑해, 황해, 지중해 등 7개 바다를 '죽어가는 바다'로 규정하고 특히 우리나라 황해의 어족자원이 1963년 141종에서 1988년 24종으로 줄어들었다고 경고하였다(Platt, 1995). 월드워치연구소의 지적은

접수 : 2006년 6월 22일

게재확정 : 2006년 8월 29일

* 동서대학교 경영학부 부교수(Corresponding author : 051-320-1604, cdkim@dongseo.ac.kr)

해양환경오염의 심각성을 적나라하게 표현한 것으로 황해를 비롯한 한국의 연안해양도 그 예외일 수는 없으나 해양생태계의 복원 등에 대한 우리 정부의 노력과 투자는 아직도 미흡한 실정이다(유승훈 외, 2004 ; 해양수산부, 2003). 이러한 점을 반영하듯이 우리나라의 경우 최근 근해저인망어업의 수익성이 현저히 악화되고 있는데 그 주요 원인으로 어업자원의 감소, 유가인상, 어업인력난의 심화, 수입자유화를 통한 수입수산물의 증가 등을 들 수 있다(옥영수, 2005). 이 같은 원인 중 어업자원의 감소는 어로기술의 발달에 따른 어획량의 증가도 그 이유가 되겠지만 보다 근본적인 문제는 환경오염에 의한 해양생태자원의 고갈에 있다고 볼 수 있다(남정호 외, 2005).

해양환경오염이 가지는 이러한 심각한 문제를 해결하기 위하여 그 동안 다양한 해양환경 보전기술이 개발되어 이미 오염된 해양환경을 복원시키고 있으며, 또한 해양오염을 사전에 방지하기 위한 해양오염 예방기술도 빠른 속도로 개발되어 보급 중에 있다. 특히 오염된 해양환경을 복원시킬 수 있는 해양환경 보전기술 중 광분해기술(photolysis technology)은 최근 나노기술(nanotechnology)의 눈부신 발전에 힘입어 기존의 환경보전기술을 진일보시켜 해양환경 산업발전에 중추적 역할을 다하고 있다. 광분해기술은 태양광선의 자외선을 이용하여 각종 오염된 유기물질을 이산화탄소와 물로 분해시키는 것을 말하는데, 이 과정에서 무독성의 광촉매(photocatalyst)를 활용하게 되면 보다 빠른 시간 내에 2차 유발오염 없이 효율적으로 각종 오염물질을 분해시킬 수 있게 된다. 따라서 광분해산업의 주요 관심은 2차 유발오염 없이 광분해 기능을 보다 향상시킬 수 있는 광촉매의 개발과 양산에 초점을 맞추고 있다(라이터스, 2006).

광촉매는 오염물질의 종류와 오염 정도에 따라 광촉매의 입자 크기와 광촉매에 코팅시키는 물질의 종류를 선택적으로 이용함으로써 광분해 기능을 보다 효율적으로 향상시킬 수 있는 다양한 종류를 얻을 수 있게 된다. 광촉매 생산은 우선 광촉매의 입자 크기를 나노단위별로 분류한 후 오염물질에 용이하게 정착할 수 있는 속성을 가진 물질을 광촉매입자의 표면에 코팅하는 작업으로 이루어진다. 이때 광촉매입자의 크기와 코팅 물질의 종류에 따라 서로 구분하여 광촉매를 가공생산하는 것이 광촉매 제품의 다양한 기능을 유지할 수 있고 가공생산과정에서 발생하는 부산물을 줄일 수 있기 때문에 बै치생산(batch production)을 하게 된다. 이러한 बै치생산은 특정 광촉매 제품의 생산이 완료되면 다른 종류의 광촉매 제품을 생산하기 위하여 가공공정 전 과정을 다시 조정하여야 하는데 이때 상당한 작업준비비용(setup - cost)이 발생한다. 또한 광촉매는 독특한 화학적 특성 때문에 일반 제품과 달리 엄격한 재고유지 환경을 갖추어야만 일정기간동안 광촉매의 기능을 유지할 수 있으며 이러한 재고유지에 필요한 기술적 환경을 만족시킨다 해도 일정한 기간이 경과하게 되면 광촉매의 입자 크기와 코

팅 물질의 종류에 따라 광분해 기능의 상실정도도 달라짐으로 가공생산된 광촉매의 제품종류별로 재고유지기간을 서로 다르게 설정하여 관리하는 것이 합리적이다.

이상의 특성을 가진 광촉매 제품의 생산계획은 제품별 작업전환(changeover)에 따른 가동준비비와 제품별 재고유지기간이 서로 다른 특성이 생산계획모델에 반영되어 결국 비선형의 대규모 혼합정수계획문제(large mixed - integer programming problem)가 된다. 혼합정수계획문제는 문제의 규모가 커지거나 문제를 구성하는 변수간의 관계가 복잡해지면 해 도출이 사실상 어려워지는 NP - hard 문제가 된다(Belvaux and Wolsey, 2000 ; Drexel and Kimms, 1997). 따라서 광촉매 제품의 생산계획은 주어진 문제의 해를 보다 쉽게 구할 수 있는 휴리스틱 기법(heuristic method)에 의한 해 도출에 관심을 가질 수밖에 없다.

본 연구는 광촉매를 생산하는 지역 소재 A업체의 광촉매 가공공정에 대한 분석을 통하여 광촉매 생산과정에서 나타나는 특성들을 확인한 후, 이 같은 특성들이 합리적으로 반영된 광촉매 생산계획모델을 구축하고 그 효율적인 해 도출을 위하여 휴리스틱 해법을 개발하는데 연구목적이 있다. 이러한 연구목적을 달성하기 위하여 본 연구에서 개발한 해 도출과정을 수치예제를 통하여 풀이하고 난수발생기(random generator)에 의해 생성된 다양한 실험문제의 수리적 최적해(optimal solutions)와 본 연구의 해법에 의한 해(heuristic solutions)를 상호 비교하여 분석함으로써 본 연구에서 개발한 휴리스틱 해법의 타당성을 검증하도록 한다.

본 연구의 의도대로 광촉매 제품의 생산계획을 효율적으로 수립할 수 있는 휴리스틱 해법이 개발되어 광촉매 산업현장에 적용되게 되면 해당 산업의 발전은 물론 이에 따른 해양환경오염의 정화를 통하여 어족자원의 감소를 어느 정도 줄일 수 있을 것으로 기대한다.

Ⅱ. 생산계획 수리모델

1. 기호 정의

광촉매 제품의 생산계획을 수립하기 위한 수리모델의 구축에 필요한 기호를 다음과 같이 정의한다.

a_i = 제품 i 의 단위당 생산에 소모되는 생산능력

h_i = 제품 i 의 1기간, 단위당 재고유지비

r_i = 제품 i 의 재고유지 가능기간

s_i = 제품 i 의 1회당 가동준비비

v_i = 제품 i 의 단위당 생산비용

C_j = j 기 이용가능한 총생산능력

D_{ij} = j 기 제품 i 의 예측수요

I_{ij} = j 기 제품 i 의 기말재고

X_{ij} = j 기 제품 i 의 생산량

$Y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{제품 } i \text{를 } j \text{기에 생산하는 경우} \\ 0, & \text{제품 } i \text{를 } j \text{기에 생산하지 않는 경우} \end{cases}$
단, $i = 1, 2, \dots, N ; j = 1, 2, \dots, T$

2. 수리모델 구축

본 연구의 생산계획모델은 기존의 자원제약하의 롯트사이즈 결정문제(capacitated lot - sizing problem ; CLSP)로 알려진 생산계획모델과 유사한 구조를 가지고 있으며 두 모델의 차이점은 광촉매 제품의 재고유지 가능기간이 제품별로 서로 다르기 때문에 이에 대한 엄격한 제약이 추가되어야 한다는데 있다. 기존 CLSP와 본 연구의 생산계획문제가 가지는 유사점과 차이점을 고려하여 광촉매 제품의 생산계획 수리모델을 구축하면 다음 문제(P)와 같다.

문제(P) :

$$\min \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^T (v_i X_{ij} + s_i Y_{ij} + h_i I_{ij})$$

$$\text{s.t. } I_{i,j} + X_{ij} - I_{ij} = D_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, N ; j = 1, 2, \dots, T \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^N a_i X_{ij} \leq C_j \quad j = 1, 2, \dots, T \quad (2)$$

$$X_{ij} \leq \left(\sum_{p=j}^q D_{ip} \right) Y_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, N ; j = 1, 2, \dots, T \quad (3)$$

$$q = \begin{cases} j + r_i - 1, & \text{if } j \leq T - r_i + 1 \\ T, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$X_{ij} \geq 0, I_{ij} \geq 0, Y_{ij} = 0 \text{ or } 1 \quad i = 1, 2, \dots, N ; j = 1, 2, \dots, T \quad (4)$$

문제(P)의 주요 변수인 X_{ij}, I_{ij} 는 나노단위로 측정된 광촉매 입자의 크기와 광촉매 표면에 코팅된 물질의 종류에 따라 j 기에 가공생산되는 광촉매 제품 i 의 생산량과 j 기말의 재고량을 각각 뜻한다. 나노입자 크기별 제품종류를 e 개로 하고 각 광촉매 제품에 코팅 처리되는 물질의 종류가 m 개 있다면 제품의 총종류 수(N)는 ($e \times m$)이 된다.

문제(P)의 식(1)과 식(4)는 미납주문을 허용하지 않고 해당 계획기의 예측수요를 만

족해야 함을 나타내며 식(2)는 j 기의 이용가능한 생산자원의 능력범위 내에서 모든 생산활동이 이루어져야 한다는 것을 뜻한다. $X_{ij} > 0$ 인 경우는 식(3)과 식(4)에 의하여 $Y_{ij} = 1$ 이 되며, $X_{ij} = 0$ 이면 식(3), 식(4)와 목적함수의 최소화 성격에 따라 $Y_{ij} = 0$ 이 된다. 식(3)은 제품 i 의 재고유지 가능기간(r_i)을 고려한 것으로 j 기에 생산할 수 있는 제품의 최대생산량 X_{ij} 는 현 계획기 j 에서 q 기까지의 수요량을 합한 것이 되며 q 기 이후의 수요량은 현 계획기 j 시점에서는 사전에 생산할 수 없음을 뜻한다. 이것은 제품의 광촉매 기능이 r_i 기간 까지만 유지된다는 제약을 수식화한 것이다. 따라서 식(3)은 제품의 광분해 기능을 유지하면서 X_{ij} 가 가질 수 있는 최대값을 뜻하며 r_i 를 고려한 q 값은 $q = j + r_i - 1$ (if $j \leq T - r_i + 1$) 또는 $q = T$ (otherwise)로 정의된다.

III. 수리모델 해법개발

1. 기본 개념

서론에서 이미 언급한 바와 같이 광촉매 제품의 생산계획을 수립하기 위한 문제(P)는 광촉매입자의 크기와 코팅 물질의 종류가 많아지고 각 제품별로 서로 다른 재고유지 가능기간을 수리모델에 포함하게 되면 문제규모가 커져 다항연산(polynomial algorithm)으로 풀 수 없는 NP - hard 문제가 됨으로서 합리적인 시간 내에 해 도출이 사실상 불가능해진다. 문제(P)의 해를 효율적으로 구할 수 있는 해법을 개발하는데 유용한 시사점을 얻기 위하여 문제(P)와 유사한 속성을 가진 CLSP의 기존해 도출 방법을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 0 또는 1의 정수제약을 가진 이진변수를 연속적인 값을 가질 수 있도록 제약을 완화시켜 분단탐색법 등을 이용하여 해를 구하거나, Manne(1958)이 제시한대로 비선형계획문제(nonlinear programming)를 선형계획문제(linear programming)로 전환시켜 구할 수도 있다. Manne(1958)과 Dzielinski, Baker and Manne(1963)은 룯트 결합이 가능한 모든 방법 각각을 결정변수로 규정하고 해당 결정변수에 따라 발생하는 총생산비용을 사전에 계산하여 모델을 재설정함으로써 0 - 1 변수가 포함되지 않는 선형계획문제로 전환하였다.

둘째, 휴리스틱 기법을 이용하여 해당 문제의 근사해를 구하는 방법이 있는데 이들 대부분의 연구들은 Silver - Meal 휴리스틱 방법을 이용하고 있으며 그 대표적인 연구는 Kuik and Solomon(1994), Maes and Wassenhove(1988) 등을 들 수 있다. 최근에는 유전자 알고리즘(genetic algorithm)을 활용한 해법개발과(Xie and Dong, 2002), 네트워크모델을 통하여 보다 효율적인 해 도출을 위한 연구들이(Viniccius, France and Toledo, 1999) 진행되고 있다.

본 연구에서는 문제(P)의 해를 도출하기 위하여 활용한 Silver - Meal 휴리스틱 방법을 기본적으로 활용하되 문제(P)의 속성을 반영한 보다 효율적인 휴리스틱 알고리즘(heuristic algorithm)을 개발하기 위하여 다음과 같은 기본 개념을 활용한다.

첫째, 해당 계획기의 수요를 만족하기 위해 필요한 최소생산량을 각 계획기의 롯트 사이즈 초기치로 설정한 후 인접한 두 계획기의 롯트결합에 따른 가동준비비의 감소와 재고유지비의 증가 차이를 계산하여 비용절감이 가능한 모든 롯트 결합방법을 탐색한다.

둘째, 탐색한 롯트 결합방법 중 생산비용 절감액이 가장 큰 방법부터 비용 절감액의 크기 순서대로 각 롯트를 결합시킨다. 이 경우 해당 계획기의 총생산능력의 많은 부분이 롯트 결합에 따라 특정 제품에 편중된다면 해당 계획기 이후 다른 제품의 생산을 보장하기 어렵기 때문에 롯트 결합이 이루어지지 않은 다른 제품의 생산도 가능할 수 있도록 해법상의 장치를 마련하여 다른 제품의 실행가능성을 검토하여야 한다.

이상의 절차에 따라 비용 절감이 가능한 모든 롯트 결합이 완료되고 나면 최초 계획기부터 최종 계획기까지 해의 개선가능성과 각 계획기별 실행가능성을 최종 검토한다.

해의 개선은 기존 휴리스틱 해법과 유사한 방법을 이용하여 이미 결정된 롯트사이즈를 해당 계획기 이전에 분할 할당함으로써 생산가동회수를 줄이고 이에 따른 생산비용의 절감이 가능한지를 파악한 후 실시한다.

2. 해법 절차

본 연구에서 개발한 광촉매 제품의 생산계획 수립을 위한 휴리스틱 알고리즘을 단계별로 정리하면 다음과 같다.

(단계 1) : 초기화

- 각 제품의 계획기별 최소 필요생산량을 롯트사이즈의 초기치로 설정
- 각 계획기의 이용가능한 잔여생산능력(AC_j) 계산

(단계 2) : 비용절감이 가능한 집합의 설정

- 인접한 두 롯트 X_{ir}, X_{ij} ($r < j, X_{ir} \neq 0, X_{ij} \neq 0, i = 1, 2, \dots, N ; j = 1, 2, \dots, T$)의 결합에 따라 생산비용의 절감이 가능한 모든 제품 i 와 계획기 j 를 원소(i, j)로 하는 집합 L 을 설정

$$L = \{(i, j) \mid h_i(j - r)X_{ij} < s_i, i = 1, 2, \dots, N ; j = 1, 2, \dots, T\}$$

$$\text{단, } r = \sup \{s \mid X_{is} > 0, s = 1, 2, \dots, j - 1\}$$

(단계 3) : 재고유지 가능기간 검토

- 집합 L 의 원소 중 $j > r + r_i - 1$ 인 경우의 원소를 집합 L 에서 제거

(단계 4) : 생산비용 절감액 계산

- 집합 L 에 포함된 모든 원소의 생산비용 절감액 (RC_{ij})을 계산

$$RC_{ij} = s_i - h_i(j - r)X_{ij}, (i, j) \in L$$

(단계 5) : 생산비용 절감액이 가장 큰 제품과 계획기 선택

- RC_{ij} 중 가장 큰 값을 가진 원소를 선택하여 원소 (k, p) 로 됨

(단계 6) : 실행가능성 검토

- 누적 생산가능자원량(SC_r)과 누적 필요생산량(SP_r) 계산

$$SC_r = \sum_{s=1}^r C_s, SP_r = \sum_{i=1}^N \sum_{s=1}^r X_{is} + X_{kp}$$

- 실행가능성 검토

$$SC_r \geq SP_r \text{ 이면 (단계 7) 아니면 (단계 2)}$$

(단계 7) : 룯트 결합

- X_{kp} 를 X_{kv} ($v = \sup\{u \mid X_{ku} > 0, u = 1, 2, \dots, p - 1\}$)에 결합
- $L = L \setminus \{(k, p)\}$, AC_v, AC_p 조정

(단계 8) : 룯트 결합 중지규칙

- 집합 L 이 공집합이면 (단계 9), 아니면 (단계 2)

(단계 9) : 해 개선

- 결정된 룯트를 해당 계획기 이전의 룯트에 분할 할당하여 비용절감 여부를 탐색한 후 해 개선

(단계 10) : 계획기별 실행가능성 검토 및 종료

- 각 계획기의 AC_j 를 계산하여 실행불가능하다면 확정된 룯트사이즈를 조정하여 실행가능성 확보
- 모든 계획대상기간에 걸쳐 이상의 연산 절차가 완료되었으면 종료

3. 수치 예제

본 연구에서 개발한 광촉매 제품의 생산계획수립을 위한 휴리스틱 해 도출과정을 자세히 알아보기 위하여 다음 < 표 1 > 과 같은 수치예제를 풀이한다.

해 도출과정을 비교적 간단히 알아보기 위하여 광촉매 제품의 종류와 계획기간을 4개 제품, 5개 계획기로 구성하여 문제를 설정하였으며 제품별로 각 계획기에 제시된

〈 표 1 〉 수치예제 자료

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	s_i	h_i	r_i	v_i	a_i
1	50	80	20	100	120	150	2	2	1	1
2	20	40	20	80	80	100	1	3	1	1
3	100	50	90	60	80	200	3	3	1	1
4	60	40	80	40	20	100	2	2	1	1
C_j	350	350	350	350	350					
AC_j	120	140	140	70	50					

자료는 해당 제품의 계획기별 예측수요를 뜻한다. 각 제품의 기초재고는 없는 것으로 가정함에 따라 각 제품의 계획기별 수요량이 해당 계획기의 제품별 최소 필요생산량 초기값에 해당되며 각 계획기의 총생산능력(C_j)에서 각 제품의 생산량을 차감한 값이 해당 계획기의 이용가능한 잔여생산능력(AC_j)이 된다.

본 연구에서 개발한 해법절차에 따라 위 수치예제를 풀이하면 다음과 같다.

(단계 1)

〈 표 1 〉 참조

(단계 2)

$$L = \{(1,3), (2,2), (2,3), (2,4), (2,5), (3,2), (3,4), (4,2), (4,4), (4,5)\}$$

(단계 3)

해당 사항 없음

(단계 4)

$$RC_{13} = 110, RC_{22} = 60, RC_{23} = 80, RC_{24} = 20, RC_{25} = 20, RC_{32} = 50, \\ RC_{34} = 20, RC_{42} = 20, RC_{44} = 20, RC_{45} = 60$$

(단계 5)

$$(k,p) = (1,3)$$

(단계 6)

$$SC_2 = 700, SP_2 = 440 + 20 = 460 \\ SC_2 > SP_2 \text{ 이므로 (단계 7)}$$

(단계 7)

$$X_{12} = X_{12} + X_{13} = 100 \\ L = L \setminus \{(1,3)\}, AC_2 = 120, AC_3 = 160$$

해양환경보전을 위한 광촉매 제품의 생산계획수립 해법개발

(단계 8)

L이 공집합이 아니므로 (단계 2)

(단계 2)

$L = \{(2,2), (2,3), (2,4), (2,5), (3,2), (3,4), (4,2), (4,4), (4,5)\}$

(단계 3)

해당 사항 없음

(단계 4)

$RC_{22} = 60, RC_{23} = 80, RC_{24} = 20, RC_{25} = 20, RC_{32} = 50,$
 $RC_{34} = 20, RC_{42} = 20, RC_{44} = 20, RC_{45} = 60$

(단계 5)

$(k,p) = (2,3)$

(단계 6)

$SC_2 = 700, SP_2 = 460 + 20 = 480$
 $SC_2 > SP_2$ 이므로 (단계 7)

(단계 7)

$X_{22} = X_{22} + X_{23} = 60$
 $L = L \setminus \{(2,3)\}, AC_2 = 100, AC_3 = 180$

(단계 8)

L이 공집합이 아니므로 (단계 2)

위의 해법절차 각 단계를 반복하여 계산하면 다음 < 표 2 > 와 같은 결과를 최종적으로 얻을 수 있다.

위 수치예제를 문제(P)에 적용시켜 LINDO를 활용하여 수리적 최적해를 구한 결과 본 연구에서 개발한 해법절차에 의한 해와 동일하게 나타났으며, 제품 생산비용 및 가

< 표 2 > 해 도출최종결과

i	j	1	2	3	4	5
1		50	100	0	100	120
2		80	0	0	160	0
3		150	0	150	0	80
4		60	40	80	60	0
AC_j		10	210	120	30	150

동준비비와 재고유지비를 포함하는 총생산비용도 3,600으로 서로 같은 결과를 얻을 수 있었다. < 표 1 >의 수치예제에서 제시한 최초 생산계획방법으로 생산활동을 하게 되면 총생산비용이 3,980이지만 본 연구의 휴리스틱 해법에 적용시켜 수립한 생산계획방법을 활용하게 되면 최초 생산계획방법에 의한 총생산비용 보다 380의 비용을 절감할 수 있음을 알 수 있다.

IV. 해법의 타당성 검증 실험

1. 실험 설계

본 연구에서 개발한 광촉매 제품의 생산계획수립을 위한 휴리스틱 해법의 타당성을 검증하기 위하여 다음과 같은 실험을 실시한다.

우선 아래 < 표 3 >의 실험문제의 규모와 데이터 생성방법에 따라 난수를 발생시켜 80개의 다양한 실험문제를 구성하도록 한다.

< 표 3 >의 문제규모는 광촉매 제품수(N)와 계획대상기간(T)의 ($N \times T$)값을 나타내며 이 값이 대체로 적은 이유는 ($N \times T$)값이 커지게 되면 문제(P)의 속성상 수리적 최적해를 짧은 시간 내에 풀이하기 어렵거나 해 도출이 불가능해질 수 있기 때문에 비교적 단시간 내에 최적해를 쉽게 구하기 위하여 그 값을 적게 설정하였다. 실제 실험설계 과정 중 ($N \times T$) 값이 100 이상인 경우 수리적 최적해를 구하는데 상당한 시간이 소요(2 - 3분)되었거나 ($N \times T$) 값이 더 커지는 경우 최적해를 구하기가 어려운 경우가 많았다. 이것은 문제(P)가 다항문제가 아닌 지수적 문제(exponential problem)이기 때문에 문제규모가 커질수록 계산량이 월등히 증가한다는 것을 의미한다.

생산능력을 뜻하는 C_j 값은 난수발생을 통하여 구한 예측수요량에 해당 백분율을 곱한 값으로 그 값이 클수록 생산여유능력이 더 커진다는 사실을 말해 준다.

$a_{ij}, h_i, r_i, s_i, D_{ij}$ 데이터는 < 표 3 >과 같이 이산적 균등분포에 따른 정수값을 가진 난수를 발생시켜 각각 구하되 재고유지 가능기간 r_i 는 해당 문제의 계획기간(T)을 고려

< 표 3 > 실험문제의 규모와 데이터 생성방법

문제 규모		생산능력		데이터 생성방법 ($a_{ij}, h_i, r_i, s_i, D_{ij}$)
$N \times T$	문제 수	C_j	문제 수	
16 - 20	20	120%	20	이산적 균등분포에 따른 적정범위의 정수값 무작위 추출
21 - 25	20	140%	20	
26 - 30	20	160%	20	
31 - 35	20	180%	20	
합계	80	합계	80	

하여 적정값을 가지도록 난수발생장치를 설계하였다.

이상과 같이 생성된 80개 실험문제를 LINDO를 이용하여 수리적 최적해를 구한 후 본 연구에서 개발한 휴리스틱 해법의 근사해와 두 해의 목적함수 값을 상호 비교함으로써 본 연구의 해법이 가지는 해 정확도를 검증하도록 한다.

2. 실험 결과

〈표 3〉에 의해 구성된 80개 실험문제의 최적해의 목적함수 값(A)과 본 연구의 해법에 의한 휴리스틱 해가 갖는 목적함수 값(B)을 각각 구하여 이를 상호 비교하여 분석한 결과를 정리하면 다음 〈표 4〉와 같다. 〈표 4〉의 목적함수 값 차이비율은 최적해와 휴리스틱 해가 일치하지 않는 실험문제의 목적함수 값 A, B를 이용하여 $(B - A)100\%/A$ 를 각각 구한 후 그 합한 값을 해당 문제 수로 나눈 평균값을 의미한다.

해 정확도 실험결과를 정리하면 다음과 같은 특성을 알 수 있다.

첫째, 80개의 실험문제를 본 연구에서 개발한 해법을 이용하여 구한 휴리스틱 해와 수리적 최적해를 구하여 상호 비교해 본 결과 75개의 실험문제에서 휴리스틱 해와 최적해가 일치(93.7%)하는 것으로 나타났다. 따라서 현실문제와 같이 복잡하고 규모가 큰 문제의 경우 본 연구에서 개발한 해법을 활용하면 광촉매 제품의 생산계획 수립문제를 보다 쉽게 해결할 수 있을 것으로 기대된다.

둘째, 휴리스틱 해와 최적해가 서로 다른 5개 실험문제의 경우 문제규모(16 - 20)을 제외한 나머지 경우 목적함수 값 차이비율이 0.9%, 1.6%, 1.8%로 각각 계산되어 낮은 오차를 가지기 때문에 휴리스틱 해의 정확도가 비교적 만족할 만한 수준으로 나타났다.

본 연구의 해법을 이용하여 구한 휴리스틱 해의 정확도가 기대 이상의 만족할 만한 결과를 나타낸 것은 주어진 문제의 변수관계와 제약조건이 엄격할수록 해법 절차의 (단계 6) 실행가능성 검토에서 제시한 계획기별 누적 생산가능자원량(SCr)과 누적 필요생산량(SPr)의 계산결과를 활용한 해법장치가 휴리스틱 알고리즘의 효율성을 보다 높여 주었기 때문이라고 판단되며, 또한 해 개선단계에서 각 계획기별 잔여생산능력을 활용하여 이미 수립된 루트의 일부를 상호 조정하여 생산가동회수를 줄임에 따라 비용 최소화를 목적으로 하는 알고리즘의 해 정확도를 제고시킬 수 있기 때문이라고 본다.

〈표 4〉 최적해와 휴리스틱 해의 목적함수 값의 비교

문제규모	문제수	최적해 일치 문제수	목적함수 값 차이비율(%)
16 - 20	20	20	0
21 - 25	20	19	0.9
26 - 30	20	19	1.6
31 - 35	20	17	1.8

실험문제의 해를 도출하는데 소요된 CPU time을 검토해 본 결과 휴리스틱 해의 경우 평균 1초 이내에 각 문제의 해를 구할 수 있었으나 LINDO를 이용한 최적해의 경우 문제당 평균 4~5초가 소요되었다. 비교적 소규모인 본 연구의 실험문제와 달리 산업현장의 경우는 문제규모가 커지게 되어 혼합정수계획 해법에 의한 해 도출 소요시간은 지수적으로 증가되어 합리적인 시간내에 해를 구하기가 어려울 것이다.

이상의 실험결과 분석에 따라 광촉매 제품의 합리적인 생산계획수립을 위하여 개발된 본 연구의 휴리스틱 알고리즘은 해의 정확도 측면에서 볼 때 비교적 우수한 해법의 대안으로 볼 수 있다. 다만 문제의 규모가 커지거나 생산능력의 규모가 적은 경우(총 생산능력이 140% 이하인 경우 3개의 실험문제에서 해 오차 발생) 해의 정확도가 다소 떨어진다는 점을 감안하여 향후 정밀한 원인 규명과 해법의 논리구조에 대한 재정리를 통하여 보다 우수한 해 도출방법을 구축할 필요가 있다고 본다.

V. 요약 및 추가연구 필요성

2차 유발오염 없이 연안해양의 환경오염을 효과적으로 처리할 수 있는 광촉매 제품의 합리적인 생산계획 수립문제는 해당 산업발전은 물론 해양환경의 보전을 통한 어족자원의 고갈을 사전에 예방할 수 있기 때문에 그 중요성이 점차 커지고 있다. 이에 따라 본 연구는 광촉매 제품의 생산계획을 합리적으로 수립할 수 있는 휴리스틱 해법을 개발하고자 하는데 연구목적이 있다. 이를 위하여 광촉매 제품의 생산계획 수리모델을 구축한 후, 수리모델의 특성과 각 변수간의 수학적 구조관계를 이용하여 효율적인 해 도출 알고리즘을 개발하였다. 본 연구에서 개발한 해법절차는 초기해 설정, 실행가능성 검토 및 룯트 결합, 해 개선단계로 구성되어 있으며 해 도출 알고리즘의 타당성을 검증하기 위하여 난수를 발생시켜 구성한 80개 실험문제 각각의 휴리스틱 해와 최적해를 상호 비교함으로써 휴리스틱 해법의 해 정확도를 검증하였다. 해 정확도 실험결과 비교적 만족할만한 결과를 얻었으나 광촉매 제품의 생산조건을 설명해 줄 수 있는 생산현장의 모든 제약조건들이 본 연구의 해법개발에 충분히 반영되어 있다고는 보기 어렵기 때문에 다음과 같은 추가연구가 필요하다고 본다. 우선 본 연구의 휴리스틱 해법을 활용하여 현장문제를 보다 원활히 해결하기 위해서는 제약조건에 대한 보다 상세한 추가검토와 해 도출방법의 논리적 검증이 지속적으로 연구되어야 할 것이다. 특히 문제규모가 커지거나 잔여생산능력이 적은 경우 해 정확도가 떨어지는 문제를 해결하기 위하여 메타휴리스틱(metaheuristic) 접근방법을 우선적으로 검토해 볼 필요가 있다고 본다. 또한 본 연구에서 개발한 휴리스틱 해법의 타당성 검증을 위해 현장의 데이터를 직접 활용하여 분석하는 것이 바람직하나 현장의 데이터 정리

가 다소 미흡한 점이 많아 부득이 난수발생기를 이용한 실험에 그쳐 해법의 타당성 검증에 한계를 가지고 있다. 이 점에 대해서는 정확한 현장 데이터를 향후 면밀히 재검토하여 본 연구의 해 도출 알고리즘에 적용시켜 실무의 진행결과와 본 연구의 해를 비교 분석함으로써 본 연구의 알고리즘의 현장 적응력을 제고시켜야 할 것으로 본다.

참 고 문 헌

- 김석구, 21세기 청색혁명과 해양환경정책론, 서울기획문화사, 2002.
- 남정호 · 강대석, “ 황해 해양환경보전을 위한 협력관리체계 구축방안”, 해양정책연구, 제 20권 제 2호, 2005, pp. 1 - 31.
- 라이터스, 광촉매 기술산업의 현황과 성장가능성, 라이터스 편집부, 2006.
- 육영수, “근해저인양어업의 한일간 경영분석 비교”, 해양정책연구, 제 20권 제 2호, 2005, pp. 170 - 212.
- 유승훈 · 양창영, “여수 앞바다의 해양오염 방지를 위한 지불의사액 분석”, 해양정책연구, 제 19권 제2호, 2004, pp. 108 - 137.
- 해양수산부, 해양수산백서(2002 - 2003), 2003.
- Belvaux, G. and L.A. Wolsey, “A Specialized Branch - and - cut System for Lot - Sizing Problems”, *Management Science*, Vol. 46, No. 5, 2000, pp. 724 - 738.
- Drexel, A. and A. Kimms, “Lot Sizing and Scheduling - Survey and Extension”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 110, NO. 3, 1997, pp. 525 - 547.
- Dzielinski, B.P., C.T. Baker and A.S. Manne, “Simulation Tests of Lot Size Programming”, *Management Science*, Vol. 9, No. 2, 1963, pp. 229 - 258.
- Kuik, R. and M. Salomon, “Batching Decision : Structures and Models”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 75, 1994, pp.243 - 263.
- Ledoux, L. and R. K. Turner, “Valuing Ocean and Coastal Resources; a Review of Practical Examples and Issues for Further Action”, *Ocean and Coastal Management*, Vol. 45, 2002.
- Maes, J. and L.N. Van Wassenhove, “Multi - Item Single - Level Capacitated Dynamic Lot - Sizing Heuristics : A General Review”, *Journal of Operational Research Society*, Vol. 39, No. 11, 1988, pp. 991 - 1004.
- Manne, A.S., “Programming of Economic Lot Sizes”, *Management Science*, Vol. 4, No. 2, 1958, pp. 115 - 135.
- Platt, A. E., Dying Seas, *Worldwatch*, January/February, 1995, pp. 10 - 19.
- Vinicius, A.A., P.M. Franca and F.M.B. de Toledo, “A Network Flow Model for the Capacitated Lot - Sizing Problem”, *Omega, Int.J.Mgmt.Sci.*, Vol. 27, 1999, pp.275 - 284.
- Xie, J. and J. Dong, “Heuristic Genetic Algorithms for General Capacitated Lot - Sizing Problems”, *Computers and Mathematics with Applications*, Vol. 44, 2002, pp. 263 - 276.

The Heuristic Algorithm of Photocatalyst Production Planning for Preserving Sea Environment

Kim, Chang-Dae

Abstract

The sea environment must be preserved for maintaining various coastal resources. In order to preserve the sea environment, this study is to find problems in the process of producing photocatalyst materials, which can purify sea pollution, and to develop the heuristic algorithm satisfying those problems. The heuristic algorithm of this paper is developed through constructing the mathematical model and analyzing the mathematical structure of variables and constraints in that model. The algorithm developed in this paper consists of the first process of initializing, the second process of lot combination and the third process of improving solutions. Some experimental results are given to verify the effectiveness of the heuristic algorithm developed in this paper.

key words : sea environment, photocatalyst production planning, mathematical model, heuristic algorithm
--