



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0046905
(43) 공개일자 2022년04월15일

- | | |
|--|---|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06Q 10/06 (2012.01) G06Q 10/04 (2012.01)
G06Q 30/02 (2012.01)</p> <p>(52) CPC특허분류
G06Q 10/067 (2013.01)
G06Q 10/04 (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2020-0130173
(22) 출원일자 2020년10월08일
심사청구일자 2020년10월08일</p> | <p>(71) 출원인
인천대학교 산학협력단
인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동)</p> <p>(72) 발명자
김지용
인천광역시 연수구 아트센터대로97번길 15, 1106동 501호</p> <p>(74) 대리인
차준용</p> |
|--|---|

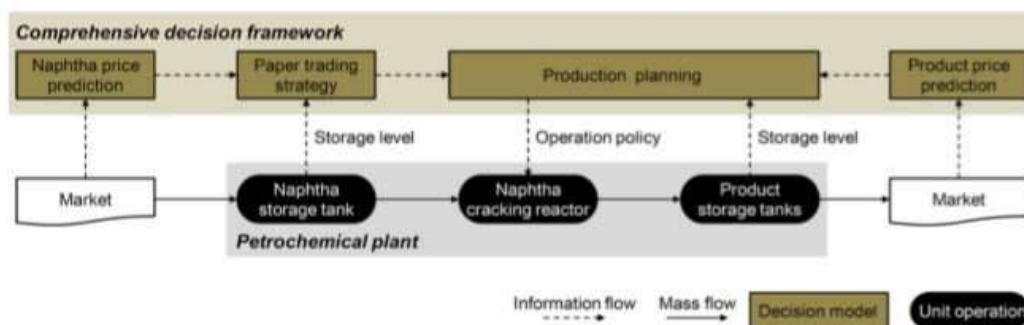
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 석유화학산업의 전략운영을 위한 가격예측과 생산계획모델을 결합한 종합 의사 결정 프레임워크

(57) 요약

본 발명은 가격 불확실성 조건에서 석유화학 산업의 원재료 및 생산 계획을 위한 새로운 의사결정 프레임워크를 제시한다. 이 프레임워크는 가격 예측, 페이퍼 트레이딩, 생산 계획 등 3가지 주요 의사결정 모델로 구성된다. 3가지 예측 모델인 시스템 역학, 다중 선형 회귀, 인공 신경망을 조사하여 원재료로서 나프타는 물론 최종 제품의 (뒷면에 계속)

대표도 - 도2



가격 예측을 정밀하게 하기 위해 비교하였다. 그런 다음 주어진 재고 용량으로 최적의 운영 전략을 수립하기 위해 혼합 정수 선형 프로그래밍 기법을 사용하여 새로운 최적화 모델을 개발했다. 프레임워크에서는 나프타 구매 시기 및 수량, 최종 제품 판매, 재고 관리, 페이퍼 트레이딩으로 재무 리스크 관리, 관련 공정의 운영 전략 등 일련의 석유화학 플랜트 의사결정 문제를 해결함으로써 최대 수익성을 보장한다. 본 발명에 따른 모델의 능력을 설명하기 위해 에틸렌, 프로필렌, 부타디엔, 벤젠, 톨루엔, 자일렌 등 6개의 주요 제품을 생산하는 실제 석유화학 공장의 원재료와 생산 계획 문제를 조사했다.

(52) CPC특허분류

G06Q 10/06313 (2013.01)

G06Q 10/0635 (2013.01)

G06Q 10/06375 (2013.01)

G06Q 30/0206 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711096076
과제번호	2019R1F1A1063653
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명	강화기계학습을 이용한 촉매 화학반응 시스템 모델링 및 최적 촉매 반응 시스템 설계 방법론 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	인천대학교
연구기간	2019.06.01 ~ 2020.02.29

명세서

청구범위

청구항 1

의사 결정 컴퓨팅 시스템에 의해 수행되는 의사 결정 방법으로서,

원재료의 정확한 구매 시기 및 원재료와 특정 제품의 가격 결정을 위해 시계열 데이터를 활용한 시스템 동적 예측 모델(System Dynamic Prediction Model, SD)로 수행되는 가격 예측 모델 (Price Prediction Model)과

비선형 프로그래밍(Nonlinear Programming, NLP) 기법을 사용하여 공식화하고 수요 제약 조건(Demand Constraints), 유효 제약 조건(Availability Constraints) 및 재고 제약 조건(Inventory Constraints)에 따라 원재료의 구매 시기와 구매 수량을 최적화한 페이퍼 트레이딩 모델(Paper Trading Model) 및

특정 제품의 최적 생산 전략을 원재료 및 특정 제품의 저장 수준과 시장 가격을 고려해 파악하는 적응형 운영 모델 (Adaptive Operation Model)을 이용하여 수행되는 종합 의사 결정 프레임워크.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 가격 예측 모델 (Price Prediction Model)은,

가격 변동 거동의 과거 데이터 및 통계를 수집하는 제1 단계;

가격 변동에 영향을 미치는 주요 요인들을 선택하는 제2 단계;

예측된 가격을 정규화하는 제3 단계;

실제 가격 변동과 비교하여 예측 가격 변동을 정량적 및 정성적으로 분석하는 제4 단계; 및

상기 요인들 간의 상관 관계를 파악하고 인과 고리(Casual Loop)를 작성하는 제5 단계;를 수행하는 것을 특징으로 하는 종합 의사 결정 프레임워크.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 가격 예측 모델 (Price Prediction Model)은,

비상 정지 및 예기치 못한 정치적 사건을 포함하여 발생할 수 있는 내부 및 외부 문제와 관련된 최소 3개월 동안의 단기 가격 예측을 수행하는 것을 특징으로 하는 종합 의사 결정 프레임워크.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 종합 의사 결정은 상한 및 하한 경계 내에서 최적의 솔루션을 찾을 때까지 원재료 및 특정 제품의 재고 수준의 초기값을 가지고 반복적으로 수행되는 것을 특징으로 하는 종합 의사 결정 프레임워크.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 페이퍼 트레이딩 모델(Paper Trading Model)에 있어서, 원재료의 구매 시기와 구매 수량은 저장 탱크의 수준과 최대 이윤을 확보하기 위한 특정 제품 가격을 고려하여 결정하는 것을 특징으로 하는 종합 의사 결정 프레임워크.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 페이퍼 트레이딩 모델(Paper Trading Model)에 있어서, 수요 제약 조건(Demand Constraints)은,

[수학식 16]

$$AD_{p,t} \leq APS_{p,t} + ALD_{p,t}, \forall p \in P \quad \text{및}$$

[수학식 17]

$$AD_{p,t}^L \leq APS_{p,t} \leq AD_{p,t}^U, \forall p \in P$$

(여기서, $AD_{p,t}$ 는 계획 기간 t 에 대한 제품 p 의 수요량, $APS_{p,t}$ 는 계획 기간 t 에 대하여 제품 p 의 판매량, $ALD_{p,t}$ 는 계획 기간 t 에 걸쳐 글로벌 시장에 판매되는 제품 p 의 수요 손실량이며, $AD_{p,t}^L$, $AD_{p,t}^U$ 는 계획 기간 t 에 따른 제품 p 수요의 하한 및 상한이다.) 와 같이 수학식 16 및 수학식 17로 표현되는 것을 특징으로 하는 종합 의사 결정 프레임워크.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 페이퍼 트레이딩 모델(Paper Trading Model)에 있어서, 유효 제약 조건(Availability Constraints)은,

[수학식 18]

$$AP_t^L \leq AP_t \leq AP_t^U$$

(여기서, AP_t^L 과 AP_t^U 는 각각 계획 기간 t 에 걸쳐 원재료의 가용성의 하한과 상한이다.) 와 같이 수학식 18로 표현되는 것을 특징으로 하는 종합 의사 결정 프레임워크.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 페이퍼 트레이딩 모델(Paper Trading Model)에 있어서, 재고 제약 조건(Inventory Constraints)은,

[수학식 19]

$$AI_{r,i}^L \leq AI_{r,i,t} \leq AI_{r,i}^U \quad \text{및}$$

[수학식 20]

$$AI_{p,i}^L \leq AI_{p,i,t} \leq AI_{p,i}^U, \forall p \in P$$

(여기서, $AI_{r,i}^L$ 및 $AI_{r,i}^U$ 는 계획 기간 동안의 재고 탱크 i 에서 원재료 r 의 하위 및 상위 레벨이며, $AI_{p,i}^L$ 및 $AI_{p,i}^U$ 는 계획 기간 t 에서 재고 탱크 i 에서 제품 p 의 하위 및 상위 레벨이다.) 와 같이 수학적 19 및 수학적 20으로 표현되는 것을 특징으로 하는 종합 의사 결정 프레임워크.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 석유화학산업의 전략운영을 위한 가격예측과 생산계획모델을 결합한 종합 의사 결정 프레임워크에 관한 발명이다.

배경 기술

[0002] 석유화학 산업에서, 공장 및 기업 수준의 수익성, 물류 신뢰성 및 재정 안전을 보장하기 위해서는 원재료 무역, 생산 계획, 원재료 재고, 위험 관리를 포함하는 지능적인 의사결정이 가장 중요하다.

[0003] 게다가, 원재료와 제품의 가격은 세계에서 가장 길고 가장 복잡한 공급망을 가진 세계 석유화학 시장에서 놀라운 변화를 보여주었다. 따라서 석유화학 공장의 의사결정은 경쟁력을 유지하기 위해 외부 도전과 내부 문제(예: 에너지 효율과 비용 절감) 모두에 대처해야 한다. 이윤을 유지하기 위한 중요한 전략 중 하나인 생산 계획은 광범위한 의사결정 문제를 다룬다.

[0004] 석유화학 업계에서는 전 세계 공급망이 경직된 경쟁에 직면해 있고, 시장에는 기존의 공급 주도형 모델이 아닌 수요 주도형 모델이 필요하기 때문에 적절한 생산 계획의 중요성이 특히 두드러진다.

[0005] 이 산업의 생산 계획 문제를 해결하기 위한 많은 연구가 시도되었다. 특히 최근 보고서는 다양한 불확실성(예: 석유화학제품에 대한 수요증가, 원재료 비용 증가, 내부 또는 외부 환경의 제약)을 고려한 석유화학 계획과 공급망을 통합하여 복잡한 촉매 반응과 같은 석유화학 공정의 비선형적인 측면을 보다 잘 이해하는 데 초점을 맞추고 있다.

[0006] 예를 들어, 노르웨이의 석유화학 산업에서 최대의 사업수익을 보장하기 위해 새로운 수학적 최적화 모델이 개발되었다. 혼합정수선형프로그래밍(MILP) 기법은 국내 석유화학업계 인수합병(M&A)으로 시너지 효과를 파악하는 최적화 모델을 개발하는 데 활용됐다. 그 외 여러 제품 포트폴리오로 석유화학 생산의 효율적인 계획과 일정 수립, 최적의 공급망 관리, 용량 확장 등 석유화학 산업의 구체적인 문제를 해결하는 데 초점을 맞춘 연구들이 있다.

[0007] 석유화학 공장에서 지속 가능한 운영과 관리를 보장하기 위해서는 생산 계획 문제 내에서 다양한 목표가 제시되어야 한다. 그러한 목표는 최적화 모델에서 객관적 함수의 형태로 공식화된다. 이는 운영비를 최소화할 뿐만 아니라 높은 보안에 필요한 원재료 요건을 최소화하고, 유해 환경 영향을 최소화하며, 특정 지역 환경 내에서 연간 이익을 최대화한다.

[0008] 또한 카리미(Karimi) 그룹은 원유 조달에 대한 의사결정 지원 도구를 위한 공급망과 정유 통합 공급망 모델러 및 시뮬레이터(PRISMS)를 위한 에이전트 기반 의사결정 지원 시스템(DSS) 프레임워크를 개발했다.

[0009] 이러한 시스템은 정유 사업 측면에서 통합적인 의사결정을 용이하게 한다. 그러나 이들의 연구는 국내 정책의 변화와 국제 환경에서의 예기치 못한 사건에 대응하는 통찰력만 제공할 뿐이다. Gothe-Lundgren, Lundgren, 및 Persson은 생산 공정의 활용 등 MIP(Mixed-Integer Programming) 모델에 기초한 스케줄링 문제를 해결했다. 그들은 전략, 전술 및 운영 계획 수준에서 조달 계획자의 결정을 지원할 수 있는 생산 스케줄링의 최적화 모델을 공식화했다. 그러나 개발된 모델은 기획을 생산 스케줄링과 통합하기 위한 것일 뿐 조달이나 구매 계획 결정 지원에 초점을 맞추지 않는다. 장, 윈, 쉰(Zhang, Wen, and Xu)은 원유 블렌딩 최적화와 불확실성 구매 계획을 위한 혼합 정수 비선형 프로그래밍(MINLP) 기법을 도입했다. 이는 단기 공정 운영과 장기 구매 계획을 동시에 고려하는 의사결정 지원에 상당한 기여를 한 것으로 평가된다.

[0010] 따라서, 상술한 복잡한 환경에서 불확실성이 큰 수익성을 유지하기 위해 석유화학 산업의 기업들은 덜 위험하고 유연하며 적응성이 우수한 생산 계획을 위한 지능적인 의사결정을 수립할 필요가 있다. 기존의 의사결정 도구와 관행은 석유화학 플랜트 계획 및 스케줄링 문제를 위한 통합 솔루션을 제공했지만, 모든 외부 과제와 내부 문제를 해결할 수 있는 새로운 의사결정 프레임워크가 제안되어야 한다.

선행기술문헌

특허문헌

[0012] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제10-1906046호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0013] 본 발명의 목표는 상술한 불확실성을 줄이기 위해 최적화 기반 계획 프레임워크에 제품 가격 예측을 내장함으로써 효율적인 생산 계획을 지원하는 새로운 의사결정 모델을 개발하는 것이다.
- [0014] 본 발명의 일 실시형태에 따른 프레임워크는 원재료의 구매 시기, 수량, 가격을 결정하기 위한 정확한 가격 예측을 통한 재무 리스크 모델과 최종 제품의 가격 변동에 따른 변동 생산 목표에 부합하는 관련 공정의 운영 전략을 수립하기 위한 플랜트 계획 및 스케줄링 리스크 모델로 구성된다.
- [0015] 본 발명의 일 실시형태에 따른 프레임워크는 시장에서 구매나 판매가격에 대한 사업 리스크를 줄이는 가격 예측 모델을 채택함으로써 총 수익을 극대화할 수 있다.

과제의 해결 수단

- [0017] 상기 기술적 과제를 해결하고자, 본 발명은 원재료 관리(구매 시기 및 수량 포함), 제품 품질 관리(관련 프로세스의 효율적인 운영을 통한), 재고 관리(시장 상황에 따른) 등이 포함된다.
- [0018] 구체적으로, 본 발명의 일 실시형태에 따르면, 의사 결정 컴퓨팅 시스템에 의해 수행되는 의사 결정 방법으로서, 원재료의 정확한 구매 시기 및 원재료와 특정 제품의 가격 결정을 위해 시계열 데이터를 활용한 시스템 동적 예측 모델(System Dynamic Prediction Model, SD)로 수행되는 가격 예측 모델 (Price Prediction Model)과 비선형 프로그래밍(Nonlinear Programming, NLP) 기법을 사용하여 공식화하고 수요 제약 조건(Demand Constraints), 유효 제약 조건(Availability Constraints) 및 재고 제약 조건(Inventory Constraints)에 따라 원재료의 구매 시기와 구매 수량을 최적화한 페이퍼 트레이딩 모델(Paper Trading Model) 및 특정 제품의 최적 생산 전략을 원재료 및 특정 제품의 저장 수준과 시장 가격을 고려해 파악하는 적응형 운영 모델 (Adaptive Operation Model)을 이용하여 수행되는 종합 의사 결정 프레임워크를 제공한다.
- [0019] 상기 가격 예측 모델 (Price Prediction Model)은, 가격 변동 거동의 과거 데이터 및 통계를 수집하는 제1 단계; 가격 변동에 영향을 미치는 주요 요인들을 선택하는 제2 단계; 예측된 가격을 정규화하는 제3 단계; 실제 가격 변동과 비교하여 예측 가격 변동을 정량적 및 정성적으로 분석하는 제4 단계; 및 상기 요인들 간의 상관 관계를 파악하고 인과 고리(Casual Loop)를 작성하는 제5 단계;를 수행하는 것을 특징으로 한다.
- [0020] 상기 가격 예측 모델 (Price Prediction Model)은, 비상 정지 및 예기치 못한 정치적 사건을 포함하여 발생할 수 있는 내부 및 외부 문제와 관련된 최소 3개월 동안의 단기 가격 예측을 수행할 수 있다.
- [0021] 상기 종합 의사 결정은 상한 및 하한 경계 내에서 최적의 솔루션을 찾을 때까지 원재료 및 특정 제품의 재고 수준의 초기값을 가지고 반복적으로 수행될 수 있다.
- [0022] 상기 페이퍼 트레이딩 모델(Paper Trading Model)에 있어서, 원재료의 구매 시기와 구매 수량은 저장 탱크의 수준과 최대 이윤을 확보하기 위한 특정 제품 가격을 고려하여 결정하는 것을 특징으로 한다.
- [0023] 상기 페이퍼 트레이딩 모델(Paper Trading Model)에 있어서, 수요 제약 조건(Demand Constraints)은,
- [0024] [수학식 16]

$$AD_{p,t} \leq APS_{p,t} + ALD_{p,t}, \forall p \in P \quad \text{및}$$

[0026] [수학식 17]

$$AD_{p,t}^L \leq APS_{p,t} \leq AD_{p,t}^U, \forall p \in P$$

[0027]

[0028] (여기서, $AD_{p,t}$ 는 계획 기간 t 에 대한 제품 p 의 수요량, $APS_{p,t}$ 는 계획 기간 t 에 대하여 제품 p 의 판매량, $AD_{p,t}$ 는 계획 기간 t 에 걸쳐 글로벌 시장에 판매되는 제품 p 의 수요 손실량이며, $AD_{p,t}^L$, $AD_{p,t}^U$ 는 계획 기간 t 에 따른 제품 p 수요의 하한 및 상한이다.) 와 같이 수학식 16 및 수학식 17로 표현되는 것을 특징으로 한다.

[0029] 상기 페이퍼 트레이딩 모델(Paper Trading Model)에 있어서, 유효 제약 조건(Availability Constraints)은,

[0030] [수학식 18]

$$AP_t^L \leq AP_t \leq AP_t^U$$

[0031]

[0032] (여기서, AP_t^L 과 AP_t^U 는 각각 계획 기간 t 에 걸쳐 원재료의 가용성의 하한과 상한이다.) 와 같이 수학식 18로 표현되는 것을 특징으로 한다.

[0033] 상기 페이퍼 트레이딩 모델(Paper Trading Model)에 있어서, 재고 제약 조건(Inventory Constraints)은,

[0034] [수학식 19]

$$AI_{r,i}^L \leq AI_{r,i,t} \leq AI_{r,i}^U \quad \text{및}$$

[0035]

[0036] [수학식 20]

$$AI_{p,i}^L \leq AI_{p,i,t} \leq AI_{p,i}^U, \forall p \in P$$

[0037]

[0038] (여기서, $AI_{r,i}^L$ 및 $AI_{r,i}^U$ 는 계획 기간 동안의 재고 탱크 i 에서 원재료 r 의 하위 및 상위 레벨이며, $AI_{p,i}^L$ 및 $AI_{p,i}^U$ 는 계획 기간 t 에서 재고 탱크 i 에서 제품 p 의 하위 및 상위 레벨이다.) 와 같이 수학식 19 및 수학식 20으로 표현되는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0039] 적응형 운영, 페이퍼 트레이딩, 가격 예측 모델을 포함한 본 발명의 일 실시형태에 따른 종합 의사결정 모델은 기준 사례에 대해 13.8%의 확률 향상을 달성할 수 있다.

[0040] 본 발명에 따른 모델을 활용한 최적의 생산계획으로 BAU 사례 대비 총매출 5.50%, 영업이익 13.8% 개선 효과가 있었다.

도면의 간단한 설명

[0041] 도 1은 석유화학산업의 대표적인 공급망을 나타내는 도면이다.

도 2는 석유화학 공장의 계획 및 운영을 위한 주요 의사결정 문제 내 질량과 정보 흐름을 나타내는 도면이다.

도 3은 SD 모델을 이용한 에틸렌 가격 예측 : (a) 에틸렌 가격 예측을 위한 인과 루프 및 (b) 실제 가격 및 기타 예측 모델과의 비교를 나타내는 도면이다.

도 4는 본 발명에 따른 사례의 월별 판매를 나타내는 그래프이다.

도 5는 본 발명에 따른 사례 제품의 월별 매출 이익을 나타내는 그래프이다.

도 6은 본 발명 사례 7의 (a) 재고수준과 (b) 최종제품의 누적판매액을 나타내는 그래프이다.

도 7은 서로 다른 의사결정 모델을 적용하여 얻게 되는 이익 개선을 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

이하, 실시예를 통해 본 발명을 보다 구체적으로 설명한다. 그러나 이들 예는 본 발명의 이해를 돕기 위한 것일 뿐 어떠한 의미로든 본 발명의 범위가 이들 예로 한정되는 것은 아니다.

1. 문제 제기 (PROBLEM DESCRIPTION)

석유화학공장은 대표적인 나프타, 천연가스, 응축수 등 각종 공급원을 취급해 에틸렌, 프로필렌, 부타디엔, 벤젠, 톨루엔, 자일렌 등 광범위한 1차 석유화학 제품을 생산한다. 이러한 다양한 석유화학 제품들은 매우 복잡하고 대규모의 일련의 화학 네트워크에서 중요한 구성 요소들이다. 따라서 석유화학 산업은 자본 집약도가 높다.

이러한 1차 석유화학은 사용되는 원료의 종류에 따라 막대한 경제적 의미를 갖는다. 예를 들어, 중동 국가의 대부분의 석유화학 산업은 자국 경제에 대한 이익이 증가하는 중간 또는 최종 제품을 수출하기 위해 자국 자원을 사용하기 시작했다. 석유화학 부문은 전 세계적으로 약 6000억 달러 규모로 예측되며 경쟁이 치열한 시장이다. 게다가, 이윤은 석유화학 제품의 시장에 매우 민감하다. 석유화학 기업은 영업이익의 극대화를 위해 높은 판매가 가 유효한(또는 예상되는) 가장 유리한 시기에 제품을 판매해야 한다.

따라서, 석유화학 공장의 생산 계획은 주요 제품에 대한 정확한 가격 정보를 가지고 수립되어야 한다. 이러한 의미에서 본 발명은 최적의 생산계획 모델을 제시하는데, 이는 최적의 운영방침을 수립할 뿐만 아니라 원재료 구입과 최종 제품 판매에서 파생되는 재무적 리스크를 관리할 수 있는 능력이다.

따라서, 본 발명의 일 실시형태에 따른 모델에 의해 결정된 의사결정 변수는 원료 구매 금액 및 시기, 재고 수준, 최종 제품의 판매 금액 등 석유화학 가치 사슬의 의사결정 문제와 연관되어 있다. 도 1은 원재료 구입부터 최종 제품 판매까지 석유화학 산업의 대표적인 가치 사슬을 보여준다.

다른 측면에서는 석유화학 회사들이 원재료 가격의 불확실성에 대해 지속적인 이윤을 확보하기 위해 위험관리 시스템을 고려할 필요가 있다. 예를 들어 대부분의 국내 석유화학업체들은 원료의 90% 이상을 중동에서 수입하고 있으며, 목적지까지 배송에는 약 2개월이 소요된다.

따라서 그들은 하나의 (또는 복수의) 페이퍼 트레이딩을 사용하여 재무위험을 완화할 수 있다. 앞서 언급했듯이 석유화학업체들은 급변하는 시장 상황에 민감하다. 석유화학 회사의 영업이익은 원재료 구입 비용과 최종 제품 판매 수익에 크게 좌우된다.

따라서 대부분의 석유화학회사들은 원재료와 최종제품의 가격 변동성 때문에 정확한 생산계획을 수립하기 어렵다. 원재료와 석유화학 가격의 변동에 따른 금융 리스크를 해결하고 지속 가능한 운영 전략을 수립하기 위해 다수의 석유화학 회사들이 헤지 트레이드 시스템을 채택하고 있다. 위험 회피는 매입자의 투자 지위가 미래 전망 투자로 인해 발생할 수 있는 잠재적 손익을 상쇄하기 위한 것임을 나타낸다. 예를 들어 대부분의 석유화학회사들은 헤지 트레이드를 이용해 나프타(주요 원재료 중 하나)를 구입해 왔다.

앞서 언급한 석유화학 산업의 헤지 트레이드를 제안된 틀에 반영하기 위해 본 발명은 구매 횟수, 시기 및 수량, 재고 수준 관리, 주요 공정(예: 나프타-크래킹 유닛의 생산 수준)의 운전 가능성 등 광범위한 의사결정 문제를 다루는 나프타 구매에 대한 단기 계획을 고려한다. 나프타 구매 계획을 최적화 모델에 의해 수립해 현물 거래의 최적시기와 수량을 파악해 구매 비용을 최소화하는 것이다. 나프타의 평균 시장가격은 본 발명에서 제안된 신뢰할 수 있는 예측 모델을 사용하여 예측된다. 금융 리스크 관리를 위한 헤지 트레이딩을 통한 나프타 매입 계획 수립 시 가정은 다음과 같다.

- 모든 구매 및 판매는 한 달에 한 번 이루어진다.

- 나프타의 출항 기간은 2개월이다.

- 두 달 동안 두 번 페이퍼 트레이딩이 실현된다.

- 기타 재무위험요소는 무시한다.

- [0057] - 계획의 시간 간격은 한 달이다.
- [0059] 따라서, 전체적인 최적화 문제는 다음과 같이 결정하는 것으로 구성된다. (1) 나프타 구매 시기 및 수량, (2) 최종 제품의 판매 시기 및 수량, (3) 플랜트 운영에 따른 최대 이윤을 확보하기 위한 재고 관리 전략(원재료 및 제품의 탱크 레벨).
- [0060] 상술한 문제들을 동시에 해결하기 위해, 본 발명은 도 2와 같이 여러 의사결정 모델을 하나의 프레임워크에 통합한다.
- [0061] 본 발명의 일 실시형태에 따르면, 의사 결정 컴퓨팅 시스템에 의해 수행되는 의사 결정 방법으로서, 원재료의 정확한 구매 시기 및 원재료와 특정 제품의 가격 결정을 위해 시계열 데이터를 활용한 시스템 동적 예측 모델(System Dynamic Prediction Model, SD)로 수행되는 가격 예측 모델(Price Prediction Model)과 비선형 프로그래밍(Nonlinear Programming, NLP) 기법을 사용하여 공식화하고 수요 제약 조건(Demand Constraints), 유효 제약 조건(Availability Constraints) 및 재고 제약 조건(Inventory Constraints)에 따라 원재료의 구매 시기와 구매 수량을 최적화한 페이퍼 트레이딩 모델(Paper Trading Model) 및 특정 제품의 최적 생산 전략을 원재료 및 특정 제품의 저장 수준과 시장 가격을 고려해 파악하는 적응형 운영 모델(Adaptive Operation Model)을 이용하여 수행되는 종합 의사 결정 프레임워크를 제공한다.
- [0062] 원재료인 나프타 예상 가격과 최종 제품을 바탕으로 최적의 생산 전략(예: 나프타 크래킹 수율)을 수립한다. 또한 원재료인 나프타 구매 및 상품 판매의 최적 시기와 수량은 저장 탱크의 수준과 최대 이윤을 확보하기 위한 나프타 가격을 고려하여 결정한다.
- [0063] 예를 들어, 페이퍼 트레이딩을 이용한 나프타 가격 예측은 나프타 최대 구매액을 더 낮은 가격으로 결정하여 더 높은 수준의 재고에 보관한다.
- [0064] 또한, 공장 가동을 설정하기 위해 제품의 시장 상황과 저장 수준에 따른 가격 예측도 고려되었다.
- [0065] 최적화 모델은 필요한 원재료 양, 원료 및 제품의 재고 수준, 최종 제품의 판매량, 공정 단위 운전가능성 등 석유화학 공장의 계획을 위한 의사결정 변수를 결정한다. 모델은 상·하한 경계 내에서 최적의 솔루션을 찾을 때까지 초기 값(즉, 원재료 및 최종 제품 재고 수준)으로 반복된다.
- [0066] 이에 따라 나프타 크래킹 반응기의 가동과 그에 따른 최대 이익처리에 대해 운영 방침을 정비한다.
- [0068] **2. 의사결정모델 개발 (DEVELOPMENT OF A DECISION MODEL)**
- [0069] 제안된 종합적인 의사결정 프레임워크는 주로 두 가지 다른 모델, 즉 정확한 구매 시기 및 가격 결정을 위한 가격 예측 모델과 석유화학 공장의 생산 계획 수립을 위한 페이퍼 트레이딩 (paper trading)로 구성된다.
- [0071] 2.1. 가격 예측 모델 (Price Prediction Model)
- [0072] 원재료 구매와 제품 판매의 최적 타이밍을 결정하기 위해서는 가격 예측이 매우 중요하다. 나프타와 석유화학제품의 가격 예측모델은 시계열(월 변동)을 기준으로 한다. 예측 모델에는 일반적으로 다음과 같은 다양한 작업이 포함된다.
- [0073] 1단계: 가격 변동 거동의 과거 데이터 및 통계 수집
- [0074] 2단계: 가격 변동에 영향을 미치는 주요 요인 선택.
- [0075] 3단계: 예상 가격 정상화
- [0076] 4단계: 실제 가격 변동에 비해 예측 가격 변동을 정량적 및 정성적 분석.
- [0077] 5단계: 요인 간의 상관관계를 파악 및 일상적인 루프 작성.
- [0079] 가격 예측에는 수많은 방법이 널리 사용되고 있지만, 본 발명에서는 나프타와 석유화학 제품의 가격을 매우 정

확하게 예측하기 위해 세 가지 예측 모델을 비교했다.

[0081] 2.1.1. 다중 선형 회귀 분석 (Multiple Linear Regression)

[0082] 다중 선형 회귀 분석(MLR) 모델은 가장 일반적인 예측 기법 중 하나이다. 성(Sung) 등은 복수의 회귀분석을 바탕으로 아시아 나프타 수요와 공급, 마진 등을 고려한 나프타 크래킹 가격을 예측했다. MLR 모델은 수학적 1과 같이 관측 데이터에 선형 방정식을 적합시킴으로써 둘 이상의 입력 변수와 출력 변수 사이의 상관관계를 나타낸다. 그러나 MLR 모델은 주로 정량적 데이터를 다루며 정성적 요인과 복잡성을 고려한 다양한 분야의 현상 예측에는 한계가 있다.

[0083] [수학적 1]

$$P_y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \dots + \beta_n x_n$$

[0085] 여기서, P_y 는 종속변수로서의 예측값이고, x_i 는 예측값에 영향을 미치는 독립 변수, β_0 과 β_i 는 매개변수다.

[0087] 2.1.2. 인공신경망 (Artificial Neural Network)

[0088] 인공신경망(ANN)은 인간의 뇌 신경구조를 바탕으로 한 연산 모델이다. ANN 모델은 복잡하고 비선형적인 문제 해결의 장점 때문에 시계열 예측, 신호 처리, 공정 제어, 열 전달 등 다양한 연구 분야에 적용되고 있다.

[0089] 그러나, 예측 데이터가 관측 범위에 잘 맞지만 다른 범위에서는 예측 결과가 좋지 않은 오버피팅(overfitting)과 같은 심각한 단점이 있다. ANN 모델은 다양한 아키텍처를 가지고 있으며, 본 발명에서 피드-포워드 오차 역전파법 ANN이 사용된다. 또한 S자형 함수는 쌍곡선 접선 전달 함수에 사용되며, 이 함수는 모델에서 -1 ~ 1의 범위를 가진다. 함수 $f(x)$ 는 수학적 2에 제시되어 있다.

[0090] [수학적 2]

$$f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$$

[0093] 2.1.3. 시스템 동적 예측 모델 (System Dynamic Prediction Model)

[0094] 시스템 동적 예측 모델(SD)은 시간 사용 흐름, 루프, 시간 지연을 이용하여 복잡한 문제의 동적 거동을 시간에 따라 이해할 수 있는 최선의 접근 방식이다. 인과 루프는 모든 주요 요소와 상호작용이 있는 대상 시스템의 맵이다.

[0095] SD의 인과 루프는 한 요소와 다른 요소 사이의 상호 관계를 설명한다. 특히 둘 이상의 인자의 상관 관계는 선형 또는 비선형 수학 공식으로 설정된다.

[0097] 2.2 생산 계획을 위한 페이퍼 트레이딩 모델 (Paper-Trading Model for Production Planning)

[0098] 페이퍼 트레이딩은 변동하는 물가의 금융 위험을 완화하기 위해 매우 중요하다. 페이퍼 트레이딩 모델은 월평균 나프타 구매 가격을 최소화하고 석유화학 공장의 영업이익 극대화를 위해 제안한다. 이 모델은 3개월 예상 나프타 가격, 크래킹 반응기에서 사용되는 나프타 수량, 재고량 등을 토대로 최적의 생산계획을 파악한다. 모델은 비선형 프로그래밍(NLP) 기법을 사용하여 공식화되었다.

[0100] 2.2.1. 목적 함수 (Objective Function)

[0101] 목적 함수는 수학적 3에 나타난 것과 같이 주어진 시간적 관점에서 총영업이익을 최대화하는 것이다. 영업원가는 모든 현금흐름을 포함한다. 여기서 각 상품의 총 매출과 페이퍼 트레이딩에 의한 이익은 수학적 4에 나타난

것과 같이 영업원가와 재고원가를 뺀다. 목적 함수는 다음과 같이 표현된다.

[수학식 3]

$$\text{Maximum profit} = \sum \text{Op}_t$$

[수학식 4]

$$\text{Op}_t = \text{SP}_t + \text{PP}_t - \text{OC}_t - \text{IC}_t$$

여기서, Op_t , SP_t , PP_t , OC_t , IC_t 는 각각 영업이익, 총제품 판매 수익, 나프타 구매나 판매를 이용한 수익성 있는 페이퍼 트레이딩, 영업 비용, 재고 비용을 나타내며, 첨자 t 는 계획기간을 나타낸다. 이 모델에서 제품의 판매는 수학식 5에 따라 계산된다.

[수학식 5]

$$\text{SP}_t = \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} P_{p,t} \text{ASP}_{p,t}$$

여기서, $P_{p,t}$ 는 제품 p 의 가격을 나타내고, $\text{ASP}_{p,t}$ 는 계획 기간 t 동안의 제품 p 의 판매를 나타낸다. PP_t 는 재고 파잉과 재고 소진으로 인한 위험을 최소화하기 위해 사용되며, 다음 수학식 6 및 수학식 7과 같이 표현된다.

[수학식 6]

$$\text{PP}_t = \left(\frac{\text{Ap}_{t-1} P_{t-1} + (\text{Pt}_t + \text{Pt}_{t+1}) P_t + \text{Pt}_{t+1} P_{t+1}}{\text{AP}_{t+1} + \text{AP}_{t+2}} \right)$$

여기서, Ap_{t-1} , P_{t-1} , Pt_t , AP_{t+1} 은 1개월 전 결정 구매금액, 원재료 가격 1개월 전 가격, 계획기간 t 에서의 페이퍼 트레이딩별 구매 또는 판매량, 다음 달에 도착하는 총 구매 금액이다.

[수학식 7]

$$\text{AI}_{r,i,t+1} = \text{AI}_{r,i,t} + \text{AP}_{r,t} + \text{Pt}_t - \text{Pf}$$

여기서, $\text{AI}_{r,i,t}$ 는 계획 기간 t 에 대한 원료 재고량이고, Pf 는 공정에 투입되는 물량이다.

운영비(OCT)에는 수학식 8 및 12로 표현된 하역비 및 항만비가 포함된다. 하역비에는 선박으로부터 각 재고 탱크로 소포를 하역하는 과정이 포함된다. 항만비에는 항구에서의 선적비와 하역비가 포함된다.

[수학식 8]

$$\text{OC}_t = \text{TUC} + \text{THC}$$

[수학식 9]

$$U_{r,c,i} = \text{UR}_{r,c,i} \text{UT}_{r,c,i}$$

[수학식 10]

$$\text{TS}_c = \sum_{r \in R} \sum_{c \in C} \sum_{i \in I} U_{r,c,i}$$

[0124] [수학식 11]

$$TUC = UT_{r,c,i} \sum_{r \in R} \sum_{c \in C} \sum_{i \in I} UC_{r,c,i}$$

[0125]

[0126] 여기서, $U_{r,c,i}$, $UR_{r,c,i}$, $UT_{r,c,i}$, $UC_{r,c,i}$ 및 TUC 는 각각 c 에서 i 로 원재료의 하역량, c 에서 i 로 원재료의 이전 하역 요금, 원료를 c 에서 i 로 하역하는 동안 필요한 계획, c 에서 i 로의 원재료 하역량에 대한 하역비, 및 계획 기간 동안의 총 비용이다. TS_c 는 선박에 실린 화물의 총 크기다. 특히 하역비용은 월 구매현장에서 공장까지 도착 수량에 따라 달라진다.

[0127] [수학식 12]

$$THC = UT_{r,c,i} \sum_{r \in R} \sum_{c \in C} \sum_{i \in I} HC_{r,c,i}$$

[0128]

[0129] 여기서, THC 는 계획 기간 동안의 총 보유 비용을 나타낸다. $HC_{r,c,i}$ 는 c 에서 i 까지의 원재료의 보유비용을 나타낸다.

[0131] 재고원가(IC_t)는 수학식 13과 같이 원재료와 최종제품의 재고원가를 합한 금액으로 표시한다.

[0132] [수학식 13]

$$IC_t = \sum_{r \in R} \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} AI_{r,i,t} PI_{r,i,t} + \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} AI_{p,i,t} PI_{p,i,t}, \forall p \in P$$

[0133]

[0134] 여기서, $PI_{r,i,t}$ 는 계획기간 t 에 걸친 원재료 재고관리 비용이다. $AI_{p,i,t}$ 는 계획기간 동안의 제품 p 의 재고량 t . $PI_{p,i,t}$ 는 계획기간 t 에서의 제품 p 의 재고관리 비용이다.

[0136] 제품 수율 (Product Yield)

[0137] 생산되는 제품의 양은 크래킹 공정에 공급되는 양에 제품의 수율을 곱한 것과 같다. 수율 방정식은 수학식 14로 표현된다.

[0138] [수학식 14]

$$AP_{p,t} = Pf_t y_p, \forall p \in P$$

[0139]

[0140] 여기서, $AP_{p,t}$ 는 크래킹 공정에서 생산된 p 제품의 양이고 y_p 는 특정 공급에 대한 각 p 제품의 수율이다.

[0141] [수학식 15]

$$AI_{p,i,t} = AI_{p,i,(t-1)} + AP_{p,i,t} - ASP_{p,i,t}, \forall p \in P$$

[0142]

[0143] 여기서, $AI_{p,i,t}$ 는 계획기간 t 에 걸친 p 제품의 재고량이다.

[0145] 2.2.2. 제약 조건 (Constraints)

[0146] 수요 제약 조건 (Demand Constraints)

[0147] 최종 제품의 수요는 수학식 16과 17에서와 같이 일정 범위 내에서 충족되어야 한다.

[0148] [수학식 16]

$$AD_{p,t} \leq APS_{p,t} + ALD_{p,t}, \forall p \in P \quad \text{및}$$

[0150] [수학식 17]

$$AD_{p,t}^L \leq APS_{p,t} \leq AD_{p,t}^U, \forall p \in P$$

[0152] 여기서, $AD_{p,t}$ 는 계획 기간 t 에 대한 제품 p 의 수요량, $APS_{p,t}$ 는 계획 기간 t 에 대하여 제품 p 의 판매량, $ALD_{p,t}$ 는 계획 기간 t 에 걸쳐 글로벌 시장에 판매되는 제품 p 의 수요 손실량이며, $AD_{p,t}^L$, $AD_{p,t}^U$ 는 계획 기간 t 에 따른 제품 p 수요의 하한 및 상한이다.

[0154] 유효 제약 조건 (Availability Constraints)

[0155] 석유화학공장의 안정적 운영(예를 들어 나프타 크래킹)을 위해 유지해야 할 원료(나프타)의 양은 다음과 같다.

[0156] [수학식 18]

$$AP_t^L \leq AP_t \leq AP_t^U$$

[0158] (여기서, AP_t^L 과 AP_t^U 는 각각 계획 기간 t 에 걸쳐 원재료의 가용성의 하한과 상한이다.

[0160] 재고 제약 조건 (Inventory Constraints)

[0161] [수학식 19]

$$AI_{r,i}^L \leq AI_{r,i,t} \leq AI_{r,i}^U \quad \text{및}$$

[0163] [수학식 20]

$$AI_{p,i}^L \leq AI_{p,i,t} \leq AI_{p,i}^U, \forall p \in P$$

[0165] 여기서, $AI_{r,i}^L$ 및 $AI_{r,i}^U$ 는 계획 기간 동안의 재고 탱크 i 에서 원재료 r 의 하위 및 상위 레벨이며, $AI_{p,i}^L$ 및 $AI_{p,i}^U$ 는 계획 기간 t 에서 재고 탱크 i 에서 제품 p 의 하위 및 상위 레벨이다.

[0167] 3. 결과 및 토의 (RESULTS AND DISCUSSION)

[0168] 3.1. 가격 예측 (Price Prediction)

[0169] 본 발명은 석유화학 공장(에틸렌, 프로필렌, 부타디엔, 벤젠, 톨루엔, 자일렌)의 6대 주요 제품의 시장 가격을 예측하기 위해 석유화학 제품에 영향을 미치는 35개의 서술자를 고려했다. 여기에는 과거 가격, 수요와 공급의 수량, 기타 참조 화학 물질(예: 원유)의 가격 프로파일 및 재무 통계(예: 이윤 및 현금 흐름)가 포함된다.

[0170] 2009년 5월부터 2010년 12월까지의 역사적 월별 데이터인 선택된 모든 요인은 2011년 1월부터 2011년 12월까지의 미래 가격 예측을 위한 예측 모델(MLR, ANN, SD)을 교육하는 데 이용된다.

[0171] 본 발명은 비상 정지 및 예기치 못한 정치적 사건을 포함하여 발생할 수 있는 내부 및 외부 문제와 관련된 단기 예측을 미리 3개월 동안 다룬다는 점에 특징이 있다.

[0172] 그러나, 발표된 예측 모델의 대부분은 실제 상황에 적용하기 어려운 정량적 접근법에 기초하고 있다.

[0173] SD 모델로 예측한 가격은 석유화학공장 운영전략모델의 기본 데이터로 활용됐다. 본 발명에서 SD 모델을 선택하는 또 다른 이유는 정량적, 정성적 분석 능력이다. MLR과 ANN 모델은 출력 값(여기서, 미래 가격)을 예측하는데 매우 강력하지만, 정량적 분석을 통한 인과관계 제공(여기서, 설명자들 사이 및 출력에 대한 상관관계와 역학관계)에 한계가 있다. 석유화학제품 가격 예측을 위한 SD 모델에 대한 보다 자세한 정보는 SD 모델을 이용해 실제 시장에서 나프타 수요와 공급을 분석한 류(Lyu) 등의 연구에서 확인할 수 있다.

[0174] 본 발명에서는 시계열 데이터를 고려하여 개발된 SD 모델을 사용하여 에틸렌, 프로필렌, 부타디엔, 벤젠, 톨루엔, 자일렌 등 주요 제품의 가격을 예측했다. 예를 들어, 도 3a와 3b는 각각 SD 모델과 다른 모델(MLR, ANN)을 사용한 에틸렌 가격의 실제 및 시뮬레이션 결과의 비교와 원인 루프를 나타낸다. 상술한 바와 같이, 이 인과 루프는 원유가와 나프타 마진 사이의 상관관계나 다른 석유화학 가격과 나프타 사이의 상관관계와 같은 서술자 사이의 역학관계를 이해하는 데 도움이 된다.

[0175] 제품 가격 예측 문제와 마찬가지로 석유화학 공장의 원료로서의 나프타 가격은 SD 모델을 이용해 예측했다. 특히, 나프타 구매시점은 나프타 가격 변동에 따라 결정된다.

[0176] 표 1은 나프타 구매에 대한 페이퍼 트레이딩을 통한 이익(또는 손실)을 예상 가격으로 제시한다. 7개월 안에 긍정적인 비용(즉, 이익)을 달성할 수 있었다. 마이너스 비용 달도 있지만 2011년 페이퍼 트레이딩에 의한 순이익은 약 2000만 달러다. 페이퍼 트레이딩에 의한 이익은 예상 나프타 가격의 정확도에 매우 민감하다는 점에 특징이 있다. 더 높은 예측 정확도로 더 높은 이익을 기대할 수 있다.

[0177] [표 1]

2011	profitable cost (USD)
January	2 582 991
February	-15 999 139
March	-3 465 293
April	-3 505 513
May	13 684 841
June	6 864 588
July	-5 890 267
August	8 038 669
September	8 514 295
October	7 098 466
November	7 742 833
December	-4 713 173
annual net cost	20 953 299

[0178]

[0180] 본 발명에서 나프타 가격 예측의 정확도는 도 3과 같이 약 82.3%이다. 특히 예측 정확도가 상대적으로 낮은 한 달 동안의 페이퍼 트레이딩은 마이너스 이익을 낳았다.

[0181] 예를 들어, 잘못된 가격 예측과 제품 재고의 한계로 인해 2011년 2월 페이퍼 트레이딩에 의한 손실은 가장 높다(도 3 참조). 반대로 실제 가격과 예측 가격이 거의 비슷한 5월의 페이퍼 트레이딩에 의한 이익이 가장 높다.

[0183] 3.2. 이익 추정 (Profit Estimation)

[0184] 본 발명에서는, 석유화학 산업의 생산 계획 모델을 실행해, 원재료(나프타)의 예상 가격과 최종 제품의 페이퍼 트레이딩을 이용한 영업이익을 극대화한다. 기법문제는 gPROMS의 MILP solver를 이용하여 해결한다. 최적화 모델의 모든 의사결정 변수는 생산방침(나프타 크래킹 공정의 수익률)을 조작하여 최대의 영업이익을 보장하는 것으로 결정된다. 예를 들어 다음 달 중 주력제품인 에틸렌 가격이 오를 것으로 예상되면 의사결정자는 에틸렌 수율을 높이거나 이달 중 판매량을 줄여 에틸렌 저장탱크의 최고 수준을 유지하기 위해 공장을 가동한다. 여기서, 석유화학 공장의 용량은 연간 360만 톤의 나프타라고 가정했다. 이에 따라 나프타 크래킹 공정의 용량은 월 30만t으로 원재료와 제품의 재고 보관 규모는 탱크당 최소 8만t에서 최대 30만t에 이른다. 본 발명에서 가정한 플

랜트 규격(예: 재고 규모와 나프타 크래킹 수율)은 표 2에 요약되어 있다.

[표 2]

inventory capacity (ton)		product yield
raw material	190 000	
products		
ethylene	20 000	0.33
propylene	15 000	0.16
butadiene	5 000	0.10
BTX ^a	7 500	0.21
others	15 000	0.20

^aBTX includes benzene, toluene, and xylene.

포괄적인 의사결정 프레임워크의 능력을 설명하기 위해, 본 발명은 표 3에 제시된 바와 같이 각 의사결정 모델 (즉, 가격 예측, 페이퍼 트레이딩, 운영 전략)의 포함 여부에 따라 7가지 다른 사례를 검토했다.

[표 3]

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6	Case 7
operation strategy	fixed	fixed	fixed	fixed	adaptive	adaptive	adaptive
paper trading	O	O	O	X	X	O	O
price forecasting	X	X	O	O	X	X	O

사례 1은 제안된 의사결정 모델 없이 생산계획을 나타내는 반면 사례 7은 의사결정 프레임워크가 완전히 적용될 때 운영이익을 나타낸다. 도 4와 도 5는 조사된 사례에 해당하는 월 매출과 영업이익 각각을 나타낸다. 도 4h와 5h는 모든 조사 사례의 연간 총 사업 매출과 영업이익을 비교한다.

재무위험모형과 가격예측을 고정상품전략으로 적용하지 않은 경우(즉, 제품가격에 따른 수익률 변동 없음)의 경우, 종래의 관행으로 최대 매출액을 달성한다.

도 4a와 5a는 각각 사례 1의 월별 매출과 영업이익을 나타낸다. 판매량과 구매량은 월 130만t으로 일정하다. 총 판매가격은 49억5000만달러(도 4h), 영업이익은 2억9721만달러(도 5h)로 제품 판매(에틸렌 : 111만8000t, 프로필렌 : 57만6000t, 부타디엔 : 36만t, BTX : 75만t 및 기타 72만t)에서 얻는다.

도 4b와 5b는 사례 2의 최적화 결과를 보여준다. 사례 2의 총 매출액은 사례 1과 동일하지만, 도 5h와 같이 사례 1에 비해 영업이익이 3억1,800만달러로 더 높을 것으로 예상된다. 이 경우, 페이퍼 트레이딩을 통한 추가 이익은 약 2,000만 달러로 계산된다. 나프타 구매 시 페이퍼 트레이딩을 적용해 총 영업이익 7.04%를 개선할 수 있다는 의미다.

사례 3에서는 페이퍼 트레이딩 효과 외에도 생산 계획에서 제품 가격 예측 모델을 사용할 경우의 편익을 설명한다.

도 4c와 5c는 각각 사례 3의 월별 매출과 영업이익이 표시된다. 사례 3의 총 매출액은 사례 1에 비해 약 2억 5천만 달러가 증가하여 5억 2천만 달러가 된다. 나아가 총 영업이익은 3억3321만 달러로 계산되는데, 이는 사례 1(도 5h) 대비 12.11% 증가한 것으로, 페이퍼 트레이딩이 달성한 증가액(즉, 사례 2에서 7.04%)보다 높다.

따라서, 최종 제품의 가격이 잘 예측된 생산계획이 수익을 향상시킬 수 있다는 것은 분명하다. 이러한 효익은 페이퍼 트레이딩 없이 가격 예측의 순효과를 조사하기 위해 포함되었던 사례 4에서 관찰할 수 있다. 월별 매출 계정과 영업이익 등 사례 4의 결과는 각각 도 4d와 5d에 제시되어 있다. 영업이익은 3억1226만 달러로 계산된다. 도 5h와 같이 사례 1에 비해 영업이익이 5.06% 향상되었다. 사례 4가 6월 영업이익이 가장 적다는 점이 특징이다. 이는 주로 전월에 비해 제품 판매가 크게 줄어든 데 기인한다.

제품 판매는 각 제품 재고 수준을 포함한 제품 가격 예측에 의해 결정된다. 예를 들어 다음 달 프로필렌 등 제품 가격이 인상될 경우 의사결정자가 이들 제품의 최대 저장량을 결정해야 한다. 따라서 사례 4는 재고 관리가 해당 생산관리전략이 없을 때(예: 나프타 크래킹 공정에서 제품 포트폴리오의 변경) 제품가격의 변동 하에 영업

이익을 극대화하는 핵심전략임을 암시한다.

[0200] 시장 상황의 변화에 따른 운용전략의 적응적 변화(즉 크래킹 수율)는 영업이익 극대화를 위한 매우 중요한 옵션 중 하나이다. 예를 들어, 만약 에틸렌의 예상 가격이 증가할 것으로 예상되면, 나프타 크래킹 공정은 에틸렌의 생산물을 극대화하기 위해 운용되어야 한다.

[0201] 도 4e와 5e는 가격 예측 없이 나프타 크래킹 공정의 수익률 변화를 고려한 사례 5의 월 매출(50억4000만 달러)과 영업이익(3021만 달러)의 최적 결과를 보여준다. 한편, 도 4f와 5f는 페이퍼 트레이딩을 통한 적응형 운영 전략과 재무 리스크 관리를 포함하는 사례 6의 결과를 제시한다. 사례 6은 사례 5와 동일한 매출계정을 보여주며, 총 영업이익은 3억2380만 달러로 사례 1과 사례 5에 비해 각각 8.70%, 6.94%가 개선될 것으로 예상된다.

[0202] 마지막으로 도 4g와 5g는 본 연구에서 제안한 종합적인 의사결정 프레임워크가 적용된 사례의 결과를 보여준다. 총사업매출 52억3000만달러는 다른 모든 조사건과 비교해 가장 높은 수준이다. 나아가 전체 영업이익(3억3800만 달러)도 다른 사례에 비해 가장 높은 수준이며, 특히 기준 사례(사례 1)보다 13.8% 높다. 따라서, 페이퍼 트레이딩을 통한 재무 관리, 적응형 운영 전략, 가격 예측 모델 등으로 구성된 본 발명의 프레임워크가 석유화학 공장의 수익성 개선에 효과적이라는 것은 명백하다.

[0203] 도 6은 사례 7의 모든 주요 제품의 재고 수준과 누적 판매량에 대한 상세한 정보를 보여주는데, 이는 본 발명의 의사결정 프레임워크를 완전히 적용함으로써 수익성이 가장 높은 결과를 낳는다.

[0204] 최종 제품과 나프타의 원재료 예상가격에 따라 석유화학공장은 다른 제품 포트폴리오를 생산해 최적의 시기에 판매한다. 예를 들어 향후 2개월(6~7월) 내 판매가격이 낮을 것으로 예상되는 점을 감안하면 4~5월 에틸렌과 프로필렌 판매량은 다른 달보다 높다. 동시에 재고 수준이 급격히 떨어진다는 것은 4월과 5월의 높은 판매량에 해당한다. 한편 나프타와 최종제품은 6월 판매량이 줄어든 점을 감안할 때 불리한 판매가격이 예측된 것처럼 보인다.

[0205] 도 7은 각 의사결정 모델(즉, 가격 예측, 페이퍼 트레이딩, 운영 전략)이 획득한 이익의 상대적 향상을 기준 사례(사례 1)와 비교한다. 유일한 적응형 운영 모델의 적용으로 기본 사례(약 1.7%)에 비해 크게 개선되지 않은 반면, 페이퍼 트레이딩 모델과의 조합은 재무 리스크(기본 사례 대비 8.7%)를 효율적으로 관리해 큰 시너지를 창출한다. 적응형 운영, 페이퍼 트레이딩, 가격 예측 모델을 포함한 본 발명의 일 실시형태에 따른 종합 의사결정 모델은 기준 사례에 대해 13.8%의 확률 향상을 달성할 수 있다.

[0207] 4. 결론

[0208] 본 연구는 석유화학공장의 전략적 계획과 운영을 위한 최적화 기법을 이용하여 새로운 종합적인 의사결정 프레임워크를 개발하는 것을 목표로 하였다. 본 발명은 목표 달성을 위해 3가지 의사결정 모델(적응형 운영, 페이퍼 트레이딩, 가격 예측 모델)을 통합해 변동 시장 상황에서 석유화학 공장의 영업이익 극대화를 꾀했다. 구체적으로 SD 기법을 이용한 가격예측모델은 석유화학공장의 원료로 나프타와 주요제품 가격을 예측하고, 페이퍼 트레이딩 모델은 나프타 구매시기와 수량이 가장 좋은지를 결정해 재무관리를 지원한다. 마지막 임베디드 모델인 적응형 운영 모델은 나프타 크래킹 공정의 최적 생산 전략을 저장수준과 시장가격을 고려해 파악한다. 그 결과 7개 사례 연구에서는 본 발명의 의사결정 모델이 적용되지 않은 기준 사례에 비해 수익성(13.8%)이 크게 개선될 수 있다고 밝혔다.

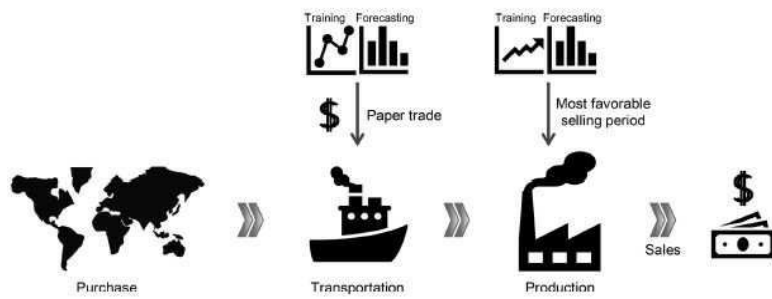
[0209] 본 발명은 석유화학 플랜트 계획에 유용하고 효율적인 의사결정 모델을 제공하지만, 본 발명의 프레임워크는 실제 석유화학 산업이 전략적 의사결정을 내리고 운영 효율성과 사업 수익성을 개선할 수 있는 완전한 비즈니스 인텔리전스로서 여전히 한계가 있다. 이에 따라, 향후 연구는 다음의 문제: 다양한 원재료 옵션과 제품 시장을 포함함으로써 석유화학 가치 사슬의 다양화 및 시스템 레벨 솔루션(예: 나프타 크래킹 공정의 최적 수율)과 공정 운영 정책(예: 최적 온도와 나프타 크래킹 반응기의 공급 속도) 해결을 위해 착수될 필요가 있다.

[0211] 이상의 설명은 본 발명을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로, 본 발명에 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가지는 자라면 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 변형이 가능할 것이다. 따라서, 본 명세서에 개시된 실시예들은 본 발명을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 사상과 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 보호범위는 청구범위에 의하여 해석되어야

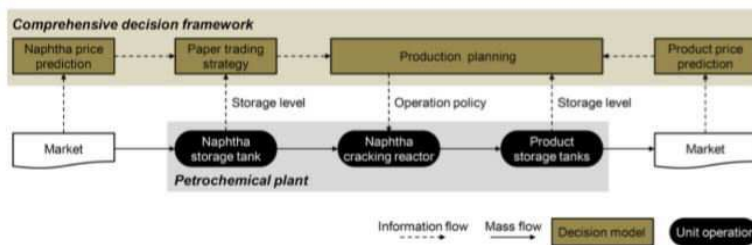
하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술은 본 발명의 권리범위에 포함하는 것으로 해석되어야 한다.

도면

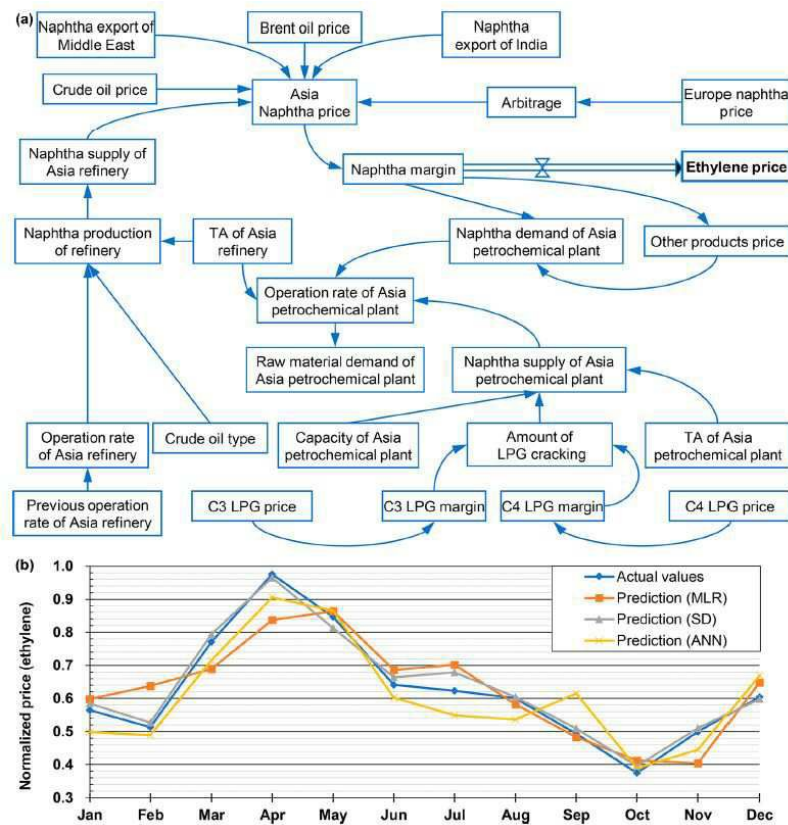
도면1



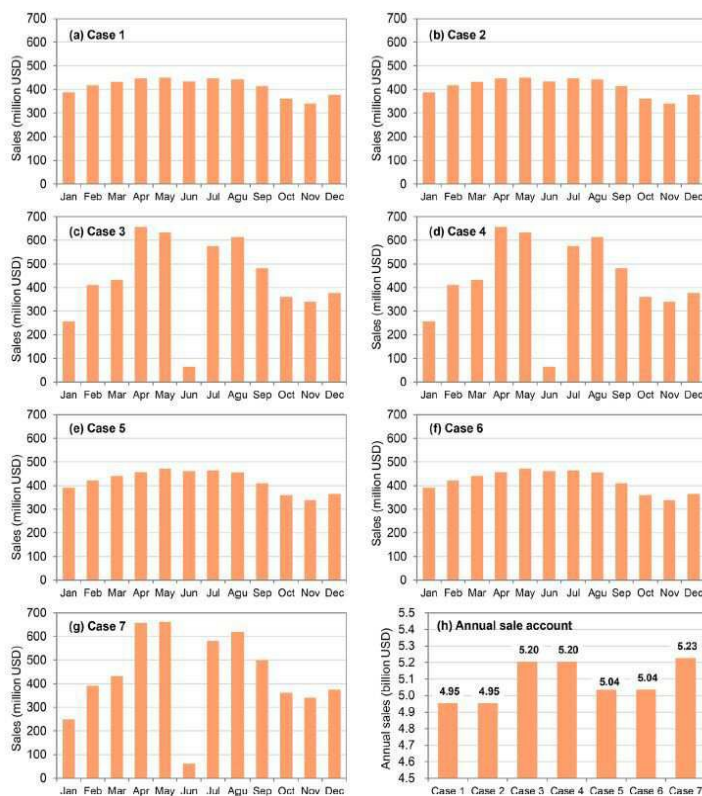
도면2



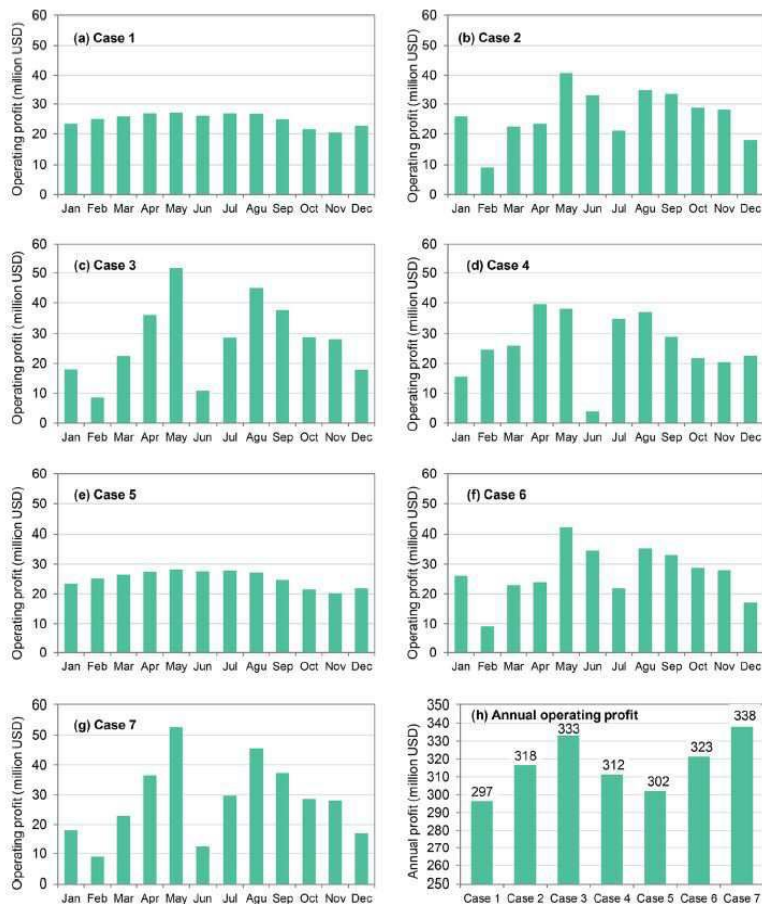
도면3



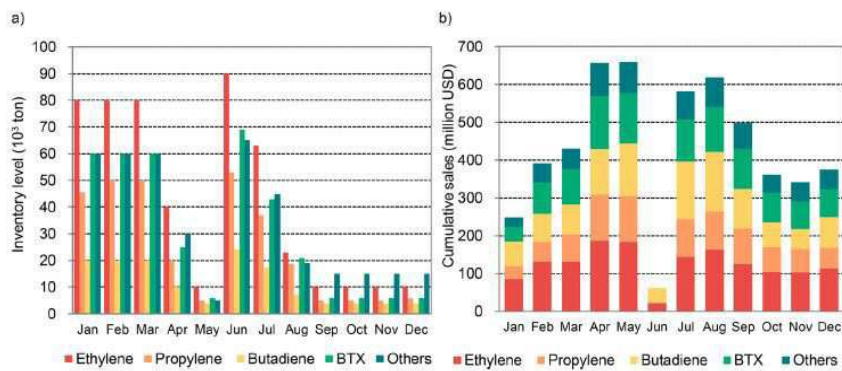
도면4



도면5



도면6



도면7

