HWAHAK KONGHAK Vol. 39, No. 1, February, 2001, pp. 30-35
(Journal of the Korean Institute of Chemical Engineers)

비상시 안전조업을 위한 운전절차 자동합성

안대명 · 허보경 · 황규석†

부산대학교 화학공학과
(2000년 7월 3일 접수, 2000년 12월 20일 채택)

Automatic Synthesis of Operating Procedures for Safe Emergency Operation

Dae Myung An, Bo Kyeng Hou and Kyu Suk Hwang†

Dept. of Chem. Eng., Pusan National University, Pusan 609-735, Korea
(Received 3 July 2000; accepted 20 December 2000)

요 약

최근 화학공장에 많은 자동 제어시스템이 도입되어 조업의 운전성과 안전성을 향상시키고 있지만 아직도 경험하지 못한 이상이나 비상상태시의 대처운전은 조업자의 경험지식과 판단에만 의존하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 인공지능 기법을 이용하여 현재 사용되고 있는 조업자의 정형화된 지식과 공정의 운전상황을 파악하여 비상시 안전조업에 필요한 운전절차를 자동으로 합성해 주는 조업지원 전문가 시스템을 개발하였다.

Abstract – Recently, automatic control systems have been introduced to improve operability and safety of operations in chemical plants. However, operations for unexperienced fault and emergency situation depend on heuristic knowledge and decision of operators. Therefore in this study, the operational decision support expert system is developed to automatically synthesize operating procedures for safe emergency operation by using formalized knowledge of operators and recognition of operational situation.

Key words: Operating Procedures, Emergency Operation, Expert System

1. 서 론

일반적으로 화학공장에서의 사고는 공정의 잠재적 위험으로부터 발생된 이상을 사전에 제거하지 못하는 경우에 발생하여 엄청난 손실을 초래한다. 화학공장에서 발생한 사고를 면밀히 분석해 보면 각종 기계장치를 포함하는 기계적 잠재 위험요소와 이를 조작, 취급하는 조업자의 조작실수와 오판단 등의 인적 위험요소에서 기인하고 있음을 알 수 있다[3, 4, 8, 9, 12, 13]. 국·내외의 화학공장에서 발생된 화재, 폭발, 누출 등의 대형사고를 중심으로 해서 조사한 결과, 운전자의 직접적인 조작실수로 인한 사고가 차지하는 비율이 높은 것을 알 수 있다(Fig. 1). 즉, 화학공장의 사고는 기계적 위험요소와 더불어 인적 위험요소가 유기적으로 결합되어 이상현상을 초래하며, 이를 조기에 제거하거나 제어하지 못하였을 경우에 엄청난 피해를 입히게 된다[10, 11, 14-16]. 이러한 현실에도 불구하고 공정운전 중에 발생되는 모든 비상상황(emergency situation)에 대한 대처방법은 공정의 운전 매뉴얼(manual)이나 조업자의 판단, 경험에만 의존하고 있는 실정이다[1, 2, 5-7].

따라서 본 연구에서는 사람의 오조작과 오판단을 방지하며, 정상조업을 계속 유지할 수 있도록 발생된 공정이상에 대한 대처 운전절차를 자동으로 합성하여 조업자의 부담을 줄일 뿐 아니라 공정의 위험요소를 제거해 주는 조업지원 전문가 시스템을 개발하고자 한다.

†E-mail: kshwang@hyowon.pusan.ac.kr

2. 시스템의 전략

2-1. 목표상황의 표현

공정 운전중에 발생하는 비상상황의 제거를 위한 목표상황은 “equipment on/off” 또는 “valve open/close” 등의 단일 조작만으로 상황달성이 가능한 조작목표와 임의의 물질에 대하여 저장조로부터 목표지점까지 위험상황이 발생하지 않고 흐름경로를 확보하기 위한 경로탐색목표로 구분한다.

따라서 본 시스템에서는 공정 내에서 발생하는 이상을 제거하고 정상적인 운전으로 복귀하는데 필요한 상황을 Table 1과 같이 구분하여 표현하였다.

2-1-1. 경로탐색을 위한 목표상황

화학공정의 특성상 물질의 흐름 또는 에너지의 공급이 가능한 에너지원의 흐름으로 정의되며, 이러한 물질흐름의 제어를 위해서는 물질흐름이 시작되는 시작점인 물질의 저장조(source tank) 또는 현재 조작위치(current-point)와 경로탐색의 끝점(end-point)을 명확히 제시하여야만 한다.

따라서, 경로탐색을 지시하기 위한 목표상황은 다음의 형식을 갖추어 나타낸다.

Make-open-path for *material from current-point* (*or source*) *to end-point*(*or sink*)

(Ex) 저장조-1로부터 반응기-1로 Hydrogen을 유입

⇒ Make-open-path for hydrogen from storage1 to reactor1

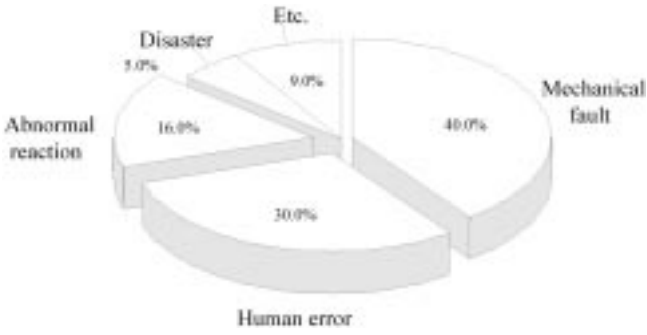

Fig. 1. Cause of accidents in chemical plants.

Table 1. Operators for operating procedure synthesis

Operator	Meaning
Make-open-path	Search open path for a material
On/off, open/close	Run/Stop a unit, open/close a valve

저장조-6으로부터 반응기-2로 CCl_4를 유입

⇒ Make-open-path for CCl_4 from storage6 to reactor2

2-1-2. 단일조작을 위한 목표상황

단일조작 목표상황은 단순히 장치의 가동과 정지, 그리고, valve의 개폐를 결정지어 주는 것으로 단순한 조작상태의 변경을 명령하는 상황은 on/off unit or open/close valve와 같이 나타낸다. 예를 들어, 반응기와 밸브의 단일조작 목표상황은 다음과 같이 나타낸다.

(Ex) 반응기-1의 정지

⇒ Off reactor1

밸브-5의 close

⇒ Close valve5

2-2. 공정결합 구조의 표현조건

화학공정의 open path의 탐색을 위한 구조적 연결관계는 다음과 같은 조건하에서 표현한다.

① 공정을 구성하는 모든 valve와 장치의 초기 구동 상태는 정지(off)되어 있거나 닫혀있는 상태(close)로 가정한다. 즉, 시스템의 단순화를 위해 단순히 장치의 on/off, valve의 open/close만을 고려한다.

② 현재 상황의 대상이 되는 물질을 중심으로 valve의 "open" 조작이나 장치의 가동조작(on)을 고려할 경우, 현재상태에서 물질이 흘러갈 수 있는 모든 경로를 하나의 탐색단위(node)로 한다.

③ 물질의 흐름은 되도록 양방향 모두 가능하도록 표현한다. 즉, 특정 장치에 대한 흐름의 단일방향만 취급할 때는 경로 탐색시 제약조건으로 활용한다.

④ 경로 탐색에 의해 생성된 경로들 중에 한 개라도 다른 장치를 포함하고 있는 경우는 별개의 경로로 취급한다.

위의 표현 조건을 적용시켜 Fig. 2에 적용하면, {v01(open), v02(open), v03(close)}과 {v01(open), v02(close) v03(open)}과 같은 두 개의 open-path를 발견할 수 있다.

2-3. 운전조작을 고려한 경로탐색 modeling

공정에 이용되는 물질의 흐름을 결정짓는 흐름경로의 탐색을 위한 modeling은 다음과 같이 행한다.

① 선택된 하나의 조작대상을 조작하였을 경우, 물질의 흐름이 진행

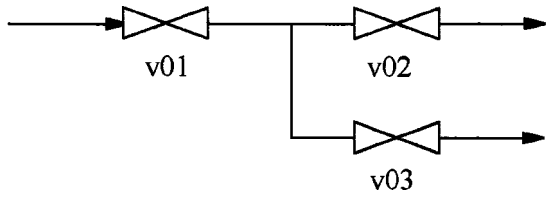

Fig. 2. Simplified process structure.

될 수 있는 부분을 일정한 단위조각으로 나누어 탐색 공간상의 node로 정의한다.

② 분리된 node상의 조작대상을 "open" 또는 "on" 조작하였을 경우, 물질흐름이 진행될 수 있는 경로를 나타내는 "조작대상 list"를 작성한다. 이 때, 각각의 분리되는 node의 list를 구성하는 조작대상들은 모두 가상적인 조작상태를 가진다. 즉, 각각의 단위 node를 연결시킴으로써 목표지점에 이르게 하는 물질의 흐름경로를 완성한다.

③ 제시되어진 조작대상 list에는 list를 구성하는 요소들간에 조작될 시의 우선 순위를 부여한다. 구성요소들 간의 조작 우선 순위는 같은 조작상태를 가지는 요소들에 대하여 제시되어진 순서에 따라 순위가 결정되어진다.

경로탐색 연산자(searching operator)인 search-node의 표현과 그 의미는 다음과 같다.

표현: Search-node from (link X) to (link Y) by [Valve or equip-List]

의미: {탐색 단위 node는 link X에서 link Y까지 [조작대상 list]로 구성된다.}

2-4. 안전조업을 위한 위험 상황의 판별 방법

조작의 실행으로 변화된 공정의 상황을 예측한 후에 대상장치에 존재하는 물질과 그 상태, 각 장치에 따른 운전의 한계 등이 공정 제약조건을 침해하는지 체크하여 실행된 조작이 안전한지를 판별한다. 즉, 현재 실행된 조작으로 변화가 예상되는 공정상태가 물질의 혼합·접촉에 의한 화재와 폭발, 급격한 압력과 온도 상승에 의한 폭발, 이상반응 등의 위험상황 발생 여부를 체크하는 단계로서 모사된 공정의 대상장치가 가지고 있는 상태의 속성변수의 값과 공정 제약조건에 규정되어 있는 변수값을 매칭(matching)한 결과, 두 변수의 값이 서로 같은 경우에 그 공정상태가 위험하다고 인식한다.

모사된 장치의 속성변수 변화값으로 위험발생 가능성을 인식한 결과가 화재나 폭발, 이상반응 등이 발생한다면, 위험성 판별에 사용되는 지식으로 조작대상의 실행이나 목표상황의 달성을 금지시킨 다음, 다른 조작이나 목표상황을 제시해야 한다. 현재 검증된 상황이 화재, 폭발 상황으로 인식되는 경우, 이러한 상황은 위험상황이므로 위험상황을 초래하는 현재의 조작 실행을 금지시키고 또다른 조작을 요구해야 한다. 또한 모든 조작후보의 검증 과정에서도 모두 위험상황이 발견한다면, 제시된 목표상황의 달성을 금지하고 안전조업을 위한 다른 목표상황을 요구한다.

3. 운전절차의 자동합성

3-1. 시스템의 구조

본 연구에서 제안한 비상시 안전조업을 위한 운전절차 합성시스템의 구조는 다음과 같으며, Allegro Lisp을 이용하여 작성되었다. 우선, 1) topology data의 대상공정의 구조와 시스템 유입구 상태를 이용하여 모사기(simulator)가 공정 전체의 현재 상태를 모사하여 초기화한다. 2) 현재 상태를 인식하여 모사된 공정상태와 운전상황을 인식한다. 3) 그리고 대상공정에 관한 계층적 운전지식 모델인 목표트리상에 존재하는 중

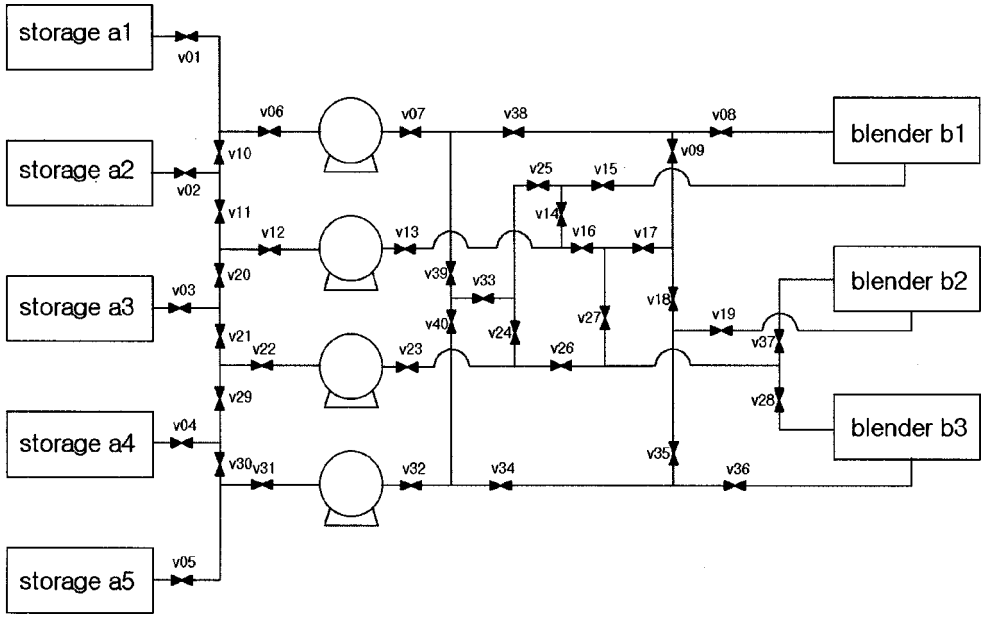

Fig. 3. Blending vessel problem.

간목표의 순서를 결정한다. 4) 중간목표의 순서가 결정되었으면, 경로탐색 알고리즘을 적용하여 각 중간목표 달성에 필요한 후보 조작들을 발견한다. 5) 탐색된 후보조작이 실행될 경우, 공정 상태 변화에 의한 영향은 모사기(simulator)에서 예측한 후에 제약조건 라이브러리(constraints library)를 이용해 후보조작의 실행 시에 고려해야할 제반 제약조건(조작의 안전성, 효율성, 환경문제 등)을 침범하는지 그 여부를 확인하여 안전한 경우, 그 후보조작을 운전절차에 추가시킨다. 6) 만일 최종목표 상태에 도달되지 않은 경우, 3)-6) 과정을 반복 · 적용한다.

3-2. 경로 탐색 알고리즘

조작대상의 탐색이 필요한 목표상황에 대해서 경로탐색 연산자의 경로탐색 알고리즘을 사용하여 가능한 경로 중에서 가장 최적의 경로를 탐색하는 방법을 다음과 같이 제시한다. 즉, 목표상황(goal situation)의 달성에 필요한 경로를 탐색하기 위해 가능한 경로를 모두 발견한 후, 각각의 탐색된 경로들 중에서 위험상황이 발생하지 않는 최적의 경로를 선택한다.

Step 1: 현재 물질의 흐름이 시작되는 point를 “current point”로 물질흐름이 끝나는 point를 “end point”로 정의하고 current point가 포함된 흐름탐색 연산자(search-node)를 찾는다.

Step 2: 발견된 search-node내의 From A to B의 형식에서 마지막 조작대상에 의해 연결될 수 있는 다음 search-node를 발견한다.

Step 3: 발견된 search-node의 마지막 조작대상이 end point와 일치하는가를 비교하여 일치하면 탐색을 중단하고, 일치하지 않으면 또 다른 search-node를 탐색한다.

Step 4: 모두 일치하지 않을 경우, 처음 발견된 node에서 하위 node로 다시 탐색을 반복한다.

Step 5: go to step 3

Fig. 3에서 제시된 공정을 대상으로 아래와 같은 목표상황의 달성을 위해 경로탐색 algorithm을 적용하면, Fig. 4와 같은 결과를 얻을 수 있다.

3-3. 제약조건을 이용한 운전절차 합성

구체화된 대응조치상황의 단일조작 명령은 장치와 valve에 대한 가동, 정지 그리고 개폐 유무를 결정하는 것으로 open, close, on, off 명령으로 구성되어 있으며 이것의 실행은 장치의 상태를 변화시킨다. 운전절차의 합성을 위해서 다음과 같은 운전자의 경험을 바탕으로 한 제약조건을 적용시킨다.

```
[Goal situation]
    Make-open-path for Material-A from storage-a1 to blender-b1
      current point :: storage-a1 ==> a1
      end point :: blender-b1 ==> b1

[Searching step]
Search-node from (link a1) to (link 01) by [a1(on), v01(open)]
Search-node from (link 01) to (link 06) by [v01(open), v10(close), v06(open)]
Search-node from (link 06) to (link 07) by [v06(open), p01(on), v07(open)]
Search-node from (link 07) to (link 38) by [v07(open), v39(close), v38(open)]
Search-node from (link 38) to (link 08) by [v38(open), v09(close), v08(open)]
Search-node from (link 08) to (link b1) by [v08(open), b1(on)]

[Searched open-path and operations]
Path :: (link a1) (link 01) (link 06) (link 07) (link 38) (link 08) (link b1)
Searched Operations ::
            [{v01, v06, v07, v38, v08} all open]
            [{v10, v39, v09} all closed]
            [{a1, p01, b1} all on]
```

Fig. 4. Results of searched open-path and operations.

[제약조건1] 비상상황이 발생한 공정을 정상 운전상태로 복귀시키기 위한 최선의 방법은 현재공정의 운전상태에서 최소한의 조작을 취하여 복귀하는 것이다. 따라서 발견된 운전절차에서 변화시킬 장치의 조작상태와 현재 장치의 운전상태가 동일한 경우에는 해당 조작을 고려하지 않는다.

[제약조건2] Pump나 valve 등에 대한 운전절차와 현재공정의 운전상태에서 가장 이상적인 조작을 선택한다.

<Rule 1> Pump의 가동은 해당 흐름경로상의 모든 valve의 open 조

Table 2. Property variables of unit

Properties	Attribute
Temp.	Temperature of material
Press	Pressure of equipment
Phase	Phase of material in equipment
Name	Equipment name
Apval	Operating state
Exist	Existing materials in equipment

작후 가동한다.

<Rule 2> Pump의 가동은 해당 흐름경로 주위의 다른 경로로 물질이 빠져나가지 못하게 하는 valve의 close 조작후 가동한다.

<Rule 3> Close 명령의 valve조작은 open 명령의 vlave 조작전에 완결한다.

Fig. 4에서 목표상황의 달성에 필요한 path에 대하여 [제약조건 1]과 [제약조건 2]를 적용하여 공정의 변화를 최소한으로 할 수 있는 조작대상을 발견한다.

[제약조건1 적용] 시스템에서 탐색된 결과와 현재 공정의 조작상태를 비교하여 조작이 가해져야 할 대상을 발견한다(Fig. 4).

[제약조건2 적용] 현재 공정상태와 비교하여 선택된 탐색 sequence의 결과에 제약조건 2의 세 가지 룰을 적용한다.

[v01(open), v06(open), v07(open)] before p01 start ;; <규칙 1적용>
[v39(close)] before p01 start ;; <규칙 2적용>
[v39(close)] before [v01(open), v06(open), v07(open)] are operated ;; <규칙 3적용>
[v39(close), v01(open), v06(open), v07(open), p01(on)] ;; 합성된 운전절차

3-4. 위험성 평가를 위한 정성적 모사

합성된 운전절차들을 이용하여 각각의 목표상황들을 달성시킬 때마다 변화되는 공정상태가 제약조건을 침범하여 위험상황이 발생할 경우에는 이 위험상황을 제거해야 한다. 본 연구에서는 각 목표상황의 달성시에 발생할 수 있는 위험을 예측하기 위해서 정성적 모사방법을 이용하여 조작실행에 의한 공정상태의 변화를 모사한다. 즉, IF-THEN 룰(rule)을 사용하여 룰의 IF부분이 현재 공정상태와 일치하는 경우에는 해당 룰의 THEN 부분을 실행하여 더 이상 매칭(matching)되는 룰이 없을 때까지 반복 실행하여 공정상태를 모사한다. 공정의 상태변화는 각 장치의 속성변수(property variables)인 온도(temp), 압력(press), 상(phase), 장치명(name), 조작상태(apval), 장치내에 존재하는 물질(exist)로 정의되어 저장된다(Table 2).

정의된 속성변수로서 현재의 조작대상 장치의 운전상태와 현재 대상장치에 취해질 조작상태 그리고, 조작후 유입될 물질의 종류와 물질의 상태를 인식한 후, 조작후 변화될 대상장치의 속성변수 값으로 공정의 변화를 예측한다.

4. 적용예

4-1. 대상공정(Catalyst Reactivation Process)

적용된 공정은 원료물질인 hydrocarbon이 반응기로 유입되어 alumina 촉매의 chloplatinic acid action에 의해 반응이 이루어져 저비점 hydrocarbon이 생산되는 공정이다. 그러나 alumina촉매의 피독이나 소결로 인하여 촉매의 제기능을 기대하지 못하는 상태가 되면 다른 잉여반응기로 hydrocarbon흐름을 대체시킨 후, 반응기내의 촉매 재생을 위해 반응기내를 hydrogen으로 처리하고, 산소로 소결된 촉매의 carbon을 태우고, CCl_4 rechlorination으로 촉매 재생을 완결한다. 그리고 다시 원래 반응기로 hydrocarbon 흐름을 개시하기 위한 처리를 행한다(Fig. 5).

대상공정에서 촉매기능이 제대로 발휘하지 못하는 비상상황이 발생하였을 때에 다음과 같은 촉매재생을 위한 공정을 수행한다.

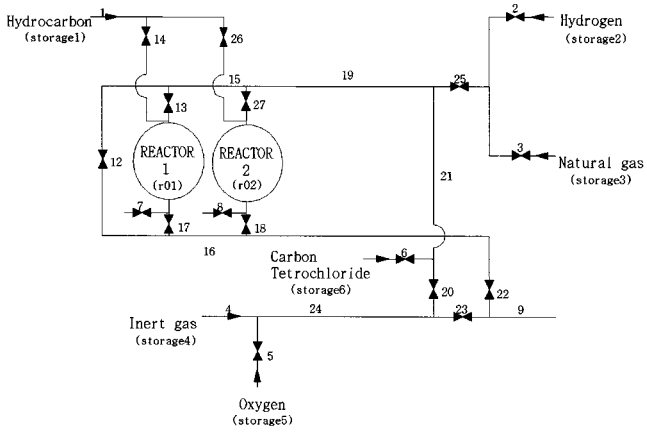

Fig. 5. Catalyst reactivation plant.

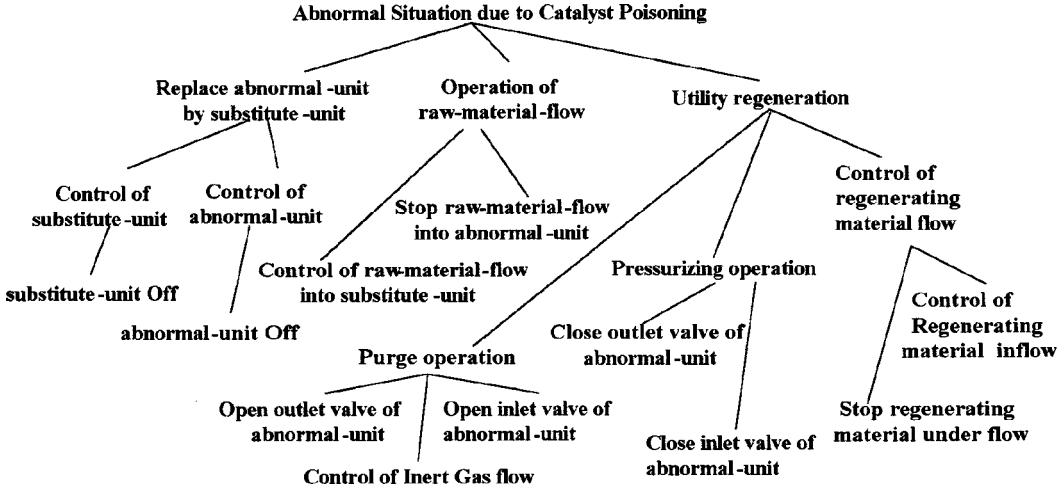

Fig. 6. Goal tree.

① 대체반응기로 hydrocarbon흐름을 대체시킨다
② 이상반응기로 유입되는 hydrocarbon흐름을 중지시킨다
③ 이상반응기로 hydrogen을 유입시켜 hydrocarbon을 purge시킨 후, hydrogen으로 반응기를 가압한다.
④ 반응기를 감압시킨 후, inert gas로 purge를 행하고 전체 공정을 inert gas로 순환시킨다.
⑤ CCl_4를 유입하여 연소처리를 행함과 동시에 산소를 유입시켜 촉매를 재생한다.
⑥ Inert gas를 다시 유입시켜 산소와 CCl_4와 함께 반응기를 가압한다.
⑦ 반응기 감압후, natural gas와 hydrogen을 차례로 유입한다.
⑧ Hydrogen을 반응기 감압을 통해 배출시킨 후 hydrocarbon흐름을 원래의 반응기로 복귀시킨다.

촉매재생 공정에 사용되는 정형화된 운전지식과 조업자의 경험지식을 정리하면, Fig. 6과 같은 계층구조를 가지는 목표트리를 구성할 수 있다. 즉, 촉매의 피독으로 인한 비상사태 상황이 발생할 경우, 해당 반응기의 촉매를 재생하기 위해 필요한 세부 목표들을 모두 만족시키는 동시에 공정의 제약조건을 침범하지 않는 운전절차를 합성한다.

4-2. 결과

일반적으로 이상장치를 대체장치로 교체하는 목표상황에 대해서는 원료물질의 흐름을 대체장치로 교체한 후, 이상장치를 정지시키면 된다. 그리고 본 공정의 특성상 물질에 대한 흐름 제어를 위해서는 저장조에서부터 반응기까지의 촉매재생물질을 혼합, 접촉으로 인한 위험상황을 고려하여 목표상황의 달성을 위한 경로를 탐색해야한다. 예를 들어,

Table 3. Synthesized operating procedure

Sequence of goal states	Off/Close operation	On/Open operation
On Reactor2		(r02)
Off Reactor1	(r01)	
Hydrocarbon Make-Open-Path from storage1 to valve26	(v14)	(v01 v26)
Close valve14 of Reactor1	(v14)	
Inert gas Make-Open-Path from storage4 to valve13	(v05 v23 v06 v25 v27)	(v04 v20 v13)
Close valve7 and valve17 of Reactor1	(v07 v17)	
Close valve13 of Reactor1	(v13)	
Open valve7 and valve17 of Reactor1		(v07 v17)
Open valve13 of Reactor1		(v13)
Hydrogen Make-Open-Path from storage2 to valve13	(v03 v20)	(v02 v25)
Close valve 2 of storage2	(v02)	
Close valve7 and valve17 of Reactor1	(v07 v17)	
Close valve13 of Reactor1	(v13)	
Open valve7 and valve17 of Reactor1		(v07 v17)
Open valve13 of Reactor1		(v13)
Inert Gas Make-open-Path from storage4 to valve13	(v05 v23 v25)	
Close valve7 and valve17 of Reactor1	(v07 v17)	
Close valve13 of Reactor1	(v13)	
Open valve7 and valve17 of Reactor1		(v07 v17)
Open valve13 of Reactor1		(v13)
Carbon Tetrachloride Make-Open-Path from storage6 to valve13	(v20)	(v06)
Oxygen Make-Open-Path from storage5 to valve13		(v05)
Close valve5 to storage5/Close valve6 to storage6	(v05 v06)	
Close valve7 and valve17 of Reactor1	(v07 v17)	
Close valve13 of Reactor1	(v13)	
Open valve7 and valve17 of Reactor1		(v07 v17)
Open valve13 of Reactor1		(v13)
Inert Gas Make-Open-Path from storage4 to valve13		(04)
Close valve7 and valve17 of Reactor1	(v07 v17)	
Close valve13 of Reactor1	(v13)	
Open valve7 and valve17 of Reactor1		(v07 v17)
Open valve13 of Reactor1		(v13)
Natural Gas Make-Open-Path from storage3 to valve13	(v02 v20)	(v03 v05)
Close valve3 of storage3	(v03)	
Close valve7 and valve17 of Reactor1	(v07 v17)	
Close valve13 of Reactor1	(v13)	
Open valve7 and valve17 of Reactor1		(v07 v17)
Open valve13 of Reactor1		(v13)
Hydrogen Make-Open-Path from storage2 to valve13	(v03)	(v02)
Close valve2 of storage2	(v02)	
Close valve7 and valve17 of Reactor1	(v07 v17)	
Close valve13 of Reactor1	(v13)	
Open valve7 and valve17 of Reactor1		(v07 v17)
Open valve13 of Reactor1		(v13)

storage6에서 reactor1으로 CCl_4를 수송하는데 필요한 흐름경로를 생성시키는 운전절차의 합성은 아래와 같다.

[공정구조 모델링]

Search-node from link01 to link14 [v01(open), v26(close), v14(open)]
Search-node from link01 to link26 [v01(open), v14(close), v26(open)]
Search-node from link02 to link25 [v02(open), v03(close), v25(open)]
Search-node from link03 to link25 [v03(open), v02(close), v25(open)]
Search-node from link04 to link20 [v04(open), v05(close), v20(open)]
Search-node from link05 to link20 [v05(open), v20(open)]
Search-node from link06 to link13 [v06(open), v25(close), v27(close), v12(close), v13(open)]
Search-node from link06 to link27 [v06(open), v25(close), v13(close), v27(open)]
Search-node from link25 to link27 [v25(open), v20(close), v13(close), v12(close), v27(open)]
Search-node from link25 to link13 [v25(open), v20(close), v27(close), v12(close), v13(open)]
Search-node from link13 to linkr1 [v13(open), r01(on)]
· · ·

[목표상황]

Goal states :: entering CCl_4 to reactor1abnormal 이상반응기로 CCl_4를 유입

⇒ Make-open-path for CCl4 from storage-6 to reactor1
Current-point :: storage6
End-point :: reactor1
Search-node from link06 to link13 [v06(open), v25(close), v27(close), v12(close), v13(open)]
Search-node from link13 to linkr1 [v13(open), r01(on)]
탐색경로 :: [v06(open), v25(close), v27(close), v12(close), v13(open), r01(on)]
현재공정상태 :: [r01(on)]
합성된 운전절차⇒[v25(close), v27(close), v12(close), v06(open), v13(open)]

물질간의 접촉, 혼합으로 인한 위험 발생가능상황을 정성적 모사를 이용하여 체크한 후, 위험상황이 발생하지 않도록 제약조건을 이용한 운전절차 합성 방법을 적용하여 생성한 최종 운전절차는 아래와 같다(Table 3).

5. 결 론

본 연구에서는 비상사태 상황 발생시에 안전한 공정상태로 복귀시키는 운전절차를 합성하기 위해 조업자의 경험지식과 공정지식을 정형화한 후, 조작실행에 의한 운전상황의 변화를 인식하고 제약조건의 침범여부를 확인하여 최종 목표상태의 도달에 필요한 운전절차를 합성해 주는 조업지원 전문가 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템을 촉매재생 공정에 적용해 본 결과, 그 유용성을 검증할 수 있었다. 즉 이러한 시스템은 사람의 오조작과 오판단을 방지할 수 있을 뿐 아니라 정상조업을 계속 유지할 수 있도록 하며, 공정이상에 대한 대처 운전절차를 자동으로 합성할 수 있어 조업자의 부담을 줄일 수 있다. 향후, 실시간으로 공정의 비상사태에 유연하게 대처할 수 있는 운전절차 합성 시스템, 최적의 운전조건을 제시해 주기 위해 필요한 최적화기법, 그리고 보다 구체적인 화학공장의 안전성 평가를 위해 필요한 지식베이스와 전문가 시스템의 개발이 요구된다.

참고문헌

1. Aelion, V. and Powers, G. J.: *Comp. Chem. Eng.*, **15**, 349(1991).
2. Crooks, C. A. and Macchietto, S.: *Chem. Eng. Commun.*, **114**, 117(1992).
3. Foulkes, N. R., Walton, M. J., Andow, P. K. and Galluzo, M.: *Chem. Eng. Commun.*, **12**, 1035(1988).
4. Fusillo, R. H. and Powers, G. J.: *Comp. Chem. Eng.*, **11**, 369(1987).
5. Fusillo, R. H. and Powers, G. J.: *Comp. Chem. Eng.*, **12**, 1023(1988).
6. Huasheng L., Lu, M. L. and Naka, Y.: *Comp. Chem. Eng.*, **23**, 657 (1999).
7. Hwang, K. S., Tomita, S. and O'shima, E.: *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **14**, 728(1988).
8. Hwang, K. S., Tomita, S. and O'shima, E.: *Int. Chem. Eng.*, **31**, 134 (1991).
9. Lakshmanan, R. and Stephanopoulos, G.: *Comp. Chem. Eng.*, **12**, 985(1988).
10. Lakshmanan, R. and Stephanopoulos, G.: *Comp. Chem. Eng.*, **12**, 1003(1988).
11. Lakshmanan, R. and Stephanopoulos, G.: *Comp. Chem. Eng.*, **14**, 301(1990).
12. Li, H. S., Lu, M. L. and Naka, Y.: *Comp. Chem. Eng.*, **21**, 899(1997).
13. Naka, Y., Lu, M. L. and Takiyama, H.: *Comp. Chem. Eng.*, **21**, 997 (1997).
14. Rivas, J. R. and Rudd, D. F.: *AIChE J.*, **20**, 311(1974).
15. Rivas, J. R. and Rudd, D. F.: *AIChE J.*, **20**, 320(1974).
16. Rostein, G. E., Lavie, R. and Lewin, D. R.: *AIChE J.*, **40**, 1650(1994).