

2002 한국지능정보시스템학회 춘계학술대회 튜토리얼

컨테이너 터미널 운영을 위한 지능형 의사결정 시스템

부산대학교 산업공학과 김 갑 환
부산대학교 컴퓨터공학과 류 광 렬

2002. 5. 10

목 차

- 컨테이너 터미널의 소개
- 터미널 운영 시스템
- 운영을 위한 의사결정 문제
- 의사결정문제에 대한 인공지능 응용 사례
 - 양적하 계획
 - 장치장 계획
 - 선석/크레인 일정계획

컨테이너 터미널의 전경



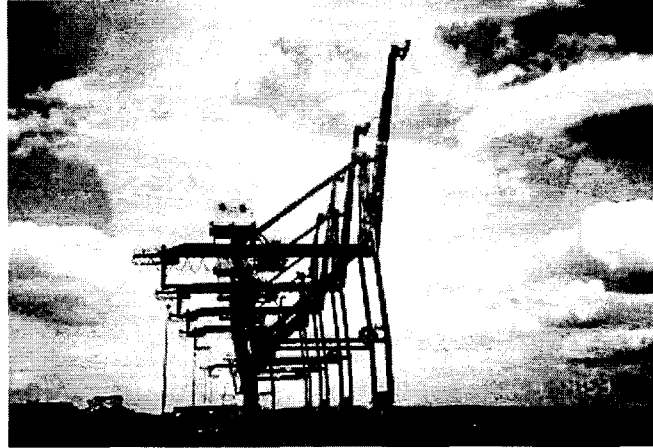
3

컨테이너 터미널의 사용장비

- Container Crane (CC)
- Transfer Crane (TC)
- Straddle Carrier(SC)
- Automated Stacking Crane(ASC)
- Yard Truck(YT)
- Automated Guided Vehicle(AGV)

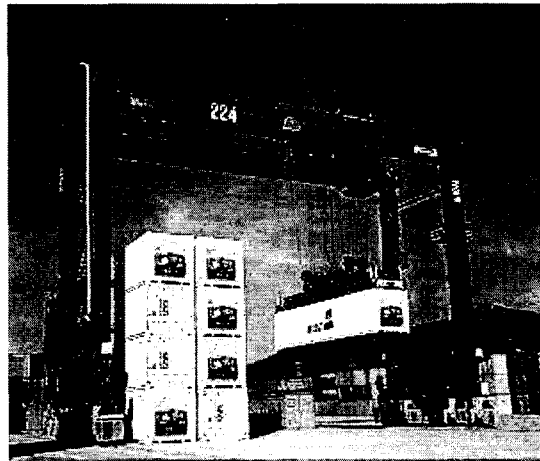
4

Container Crane



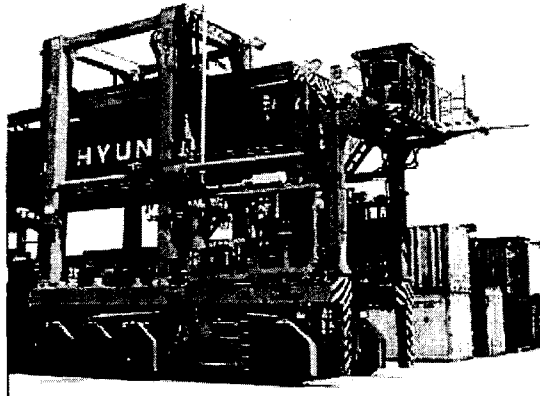
5

Transfer Crane



6

Straddle Carrier



7

Yard Truck



Load : 20', 2x20', 40', 45'

Velocity : 45km/hr

8

컨테이너 터미널의 여러 기능들의 자동화 가능성

	Module	Technology	Purpose of Automation
Information Interfaces & Planning Systems	- Information sharing with outside agents - Berth planning - Ship planning - Yard planning - Resource planning	- EDI, Internet - Optimization techniques - AI	- Productivity improvement - Maximization of resource utilization
Operation	- Gate operation - Marshalling yard operation - Control of equipment	- Automatic identification - Real time decision - Data communication	- Productivity improvement - Maximization of resource utilization
Equipment Automation	- Container crane - Yard carne - Yard truck	- Mechatronics - Real time system control	- Saving of labor cost - Improve safety

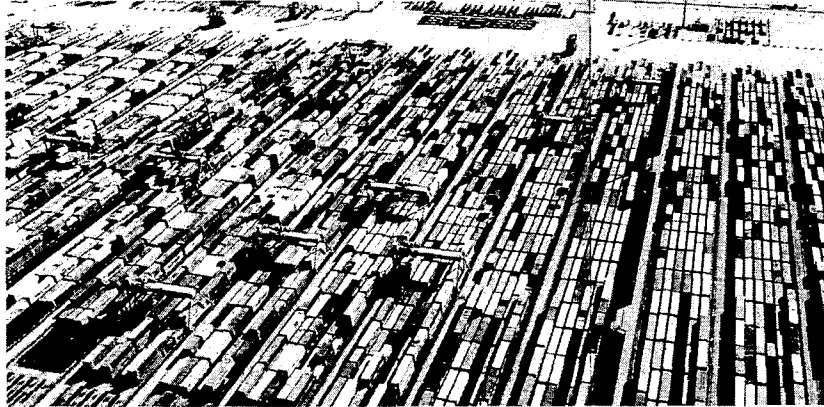
9

주요 항만들의 자동화 상황

	planning system	operation control	automation of equipment
ECT	partially automated	fully automated	fully automated
Kawasaki	beginning	beginning	yard crane automated
PSA	intelligent & automated	intelligent & automated	OHBC automated
HIT	computer aided	automated	none
Hamburg	computer aided	automated	testing automated equipment
Thames	computer aided	automated	yard crane
Busan	computer aided	computer aided	none

10

Europe Combined Terminal



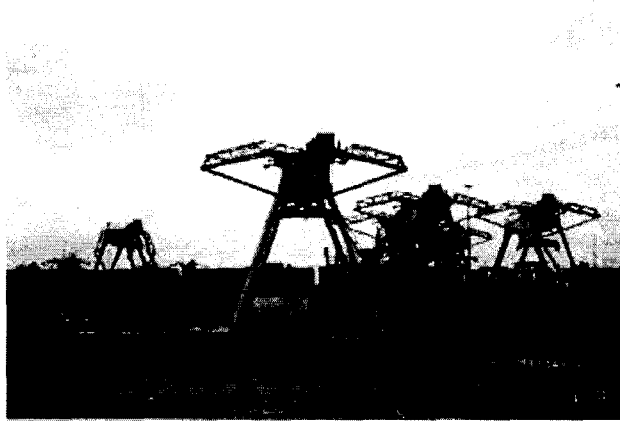
11

ECT (Rotterdam)의 AGV

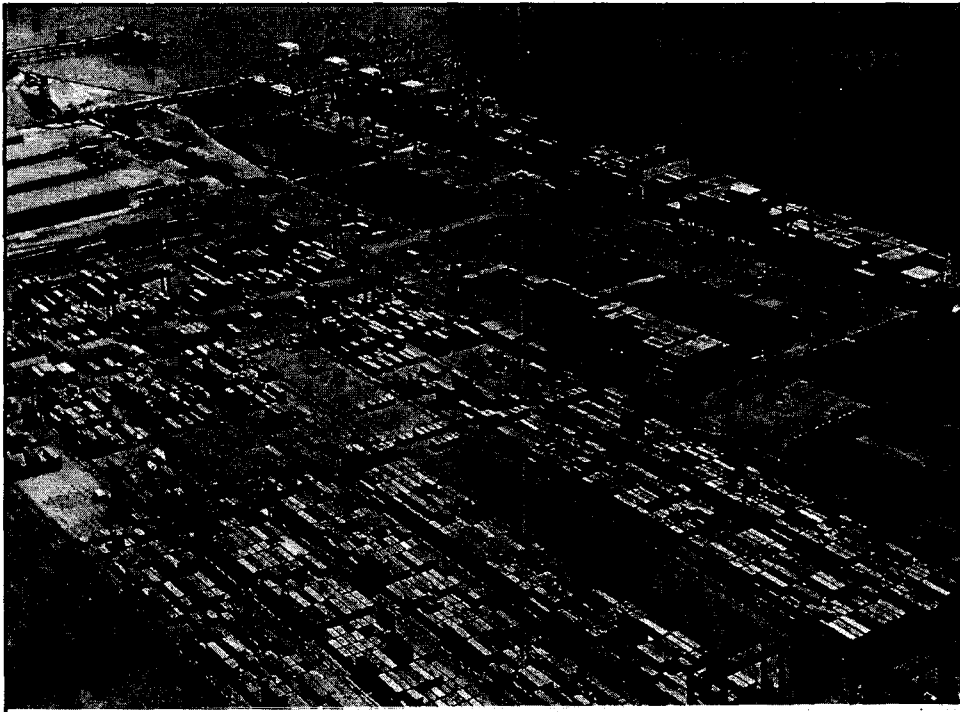


12

Automated Stacking Crane



13





Singapore

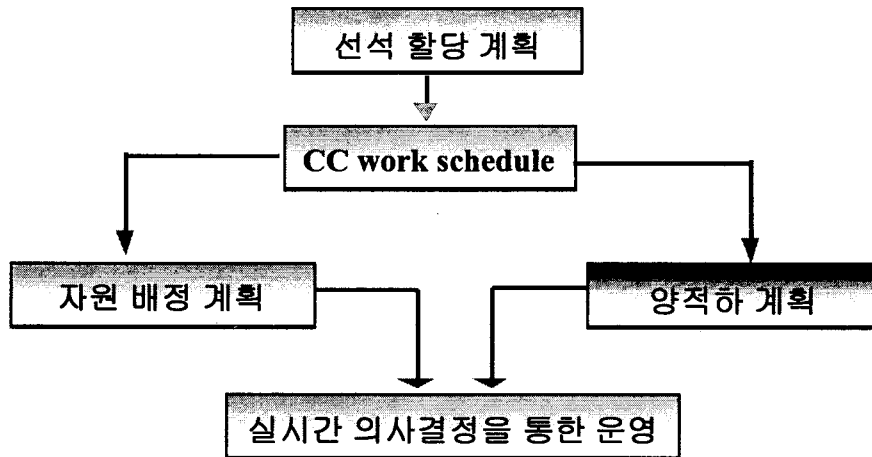
15

운영 시스템의 구성

- **Ship Planning System**
 - Berth Planning
 - C/C Work Scheduling
 - Discharge Planning
 - Load Planning
- **Resource Management System**
 - Equipment Allocation
 - Equipment Dispatching
 - Operator Assignment
- **Yard Planning System**
 - Strategic Decision Making for Yard Operation
 - Space Planning for Export Container
 - Space Planning for Import Container
- **Real time Control System**
 - Ship Operation
 - Yard Operation
 - Gate Operation
- **Simulation System**
 - Planning Simulation
 - Operation Simulation

16

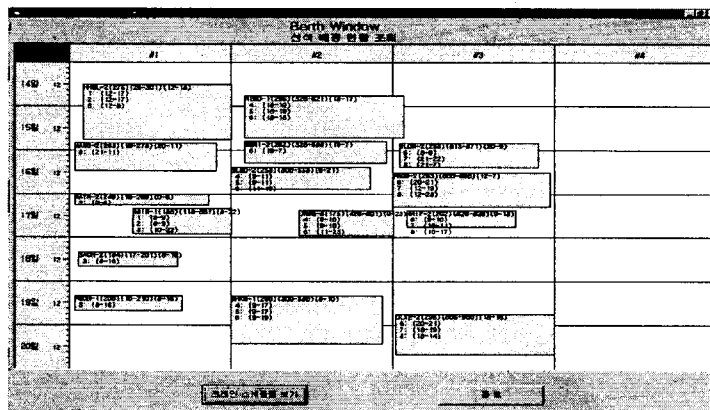
계획 및 운영시스템의 체계



17

선석계획

접안 시간, 접안 위치, 크레인 투입 시점의 결정



18

크레인 일정계획

CC Working schedule

CC1 (operation time: 09:00-12:00)							CC2 (operation time: 09:00-12:00)						
operation sequence	cluster number	location of task	type of task	number of containers	start time	finish time	operation sequence	cluster number	location of task	type of task	number of containers	start time	finish time
1	6	1Hold*	D**	47	09:00	09:47	1	7	3Dack	D	39	09:00	09:39
2	1	1Hold	L**	42	09:47	10:29	2	9	5Hold	D	46	09:41	10:26
3	8	3Hold	D	32	10:31	11:03	3	5	5Hold	L	23	10:26	10:49
4	4	3Hold	L	8	11:03	11:11	4	10	7Dack	D	24	10:51	11:14
5	3	3Dack	L	8	11:11	11:19							
6	2	3Dack	L	16	11:19	11:35							

19

양하 / 적하 계획

VESSEL : DRESDEN EXPRESS

VOYAGE : DEX -02

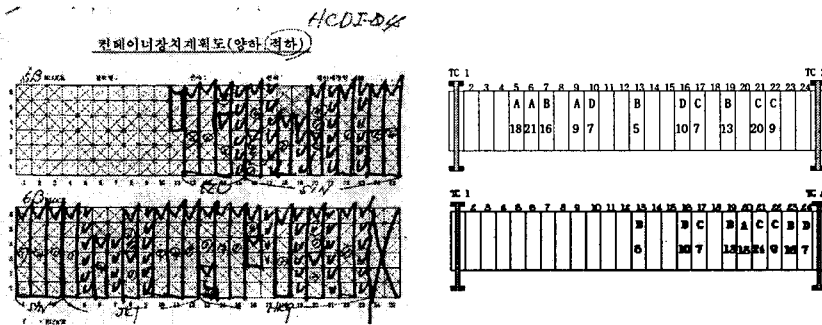
BAY: 07

SEQ-NO	CONTAINER-NO	SIZE	YARD-LOCATION	STATUS	BKAG	OPER	SHIP-LOCATION
1	HLCU2192125	20	2300-L		XVM	KMC	HL 07-01-06
2	HLCU2192146	20	-	00-0	XVM	KMC	HL 07-01-08
3	HLCU2193055	20	-	00-0	XVM	KMC	HL 07-01-10
4	HLCU2193008	20	-	00-0	XVM	KMC	HL 07-01-12
5	HLCU2190591	20	-	00-0	XVM	KMC	HL 07-01-14
6	HLCU2191812	20	-	00-0	XVM	KMC	HL 07-01-16

20

장치장 계획

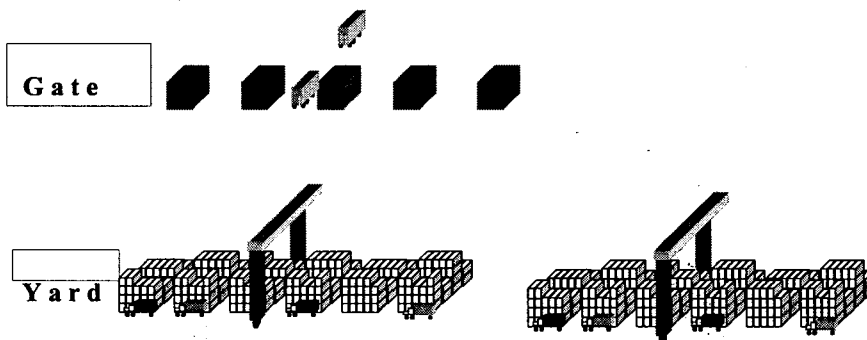
- 블록별 장치 컨테이너 종류 결정
(수입장치장/수출장치장/TS장치장)
- 블록 공간할당 & 베이할당



21

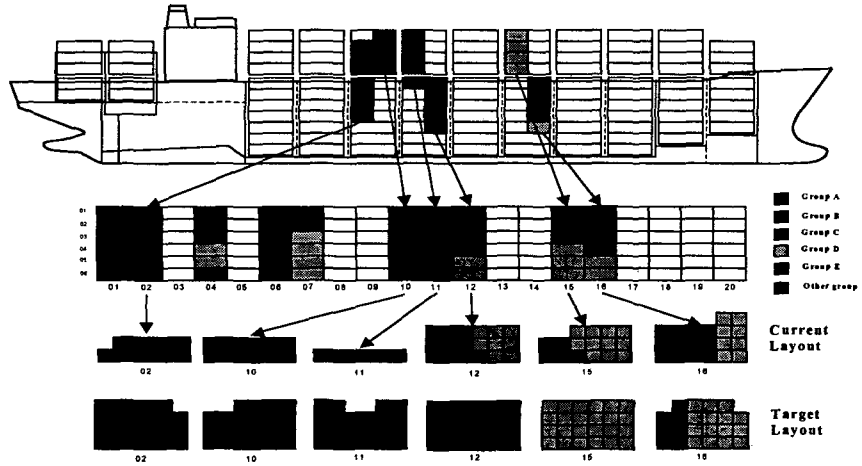
장치장 계획

- 개별 컨테이너 위치 결정



22

Re-marshaling



23

승무일정계획

<양적하 작업계획>

선박	부임 크레인	12	12	12	12
ANOR	크레인101	■			
	크레인102		■		
FTUN	크레인105	■			
OOSH	크레인103			■	
...	...		■		

본선작업담당



<승무일정계획>

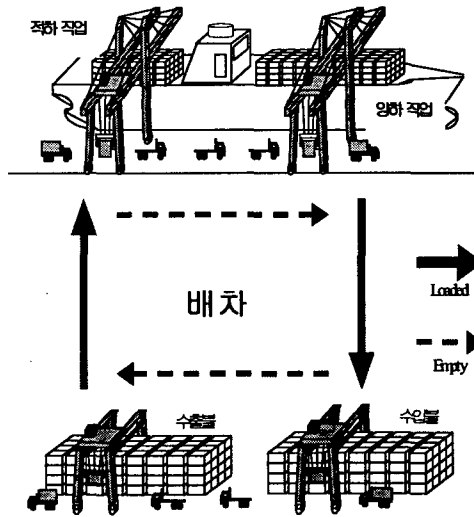
작업자	12	12	12	12
김철수			■	
홍길동		■		
이준	■			
임격정			■	
...				■

배차담당



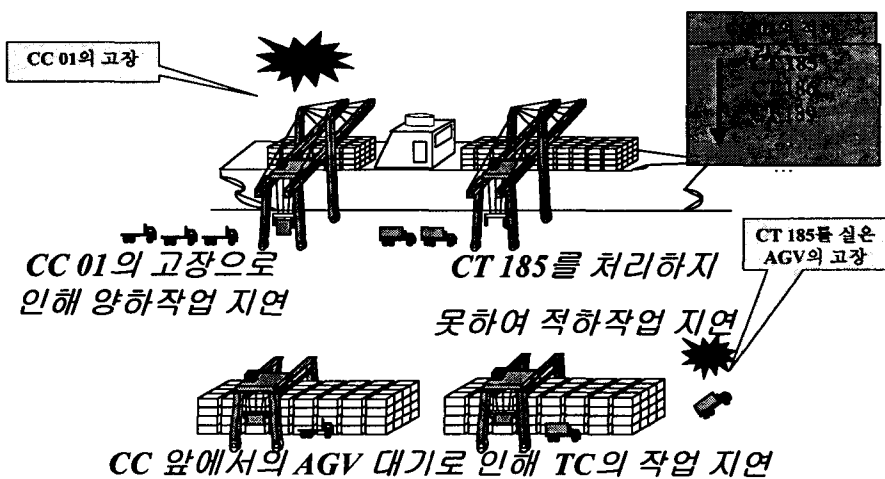
24

작업할당과 배차



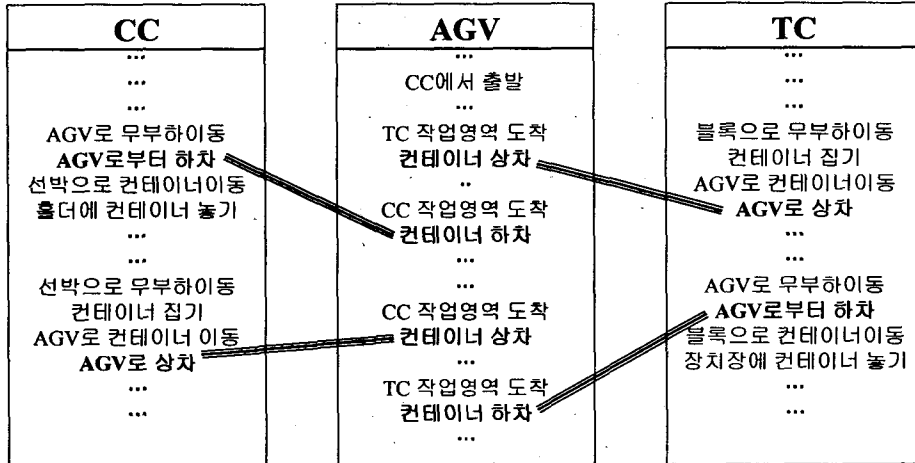
25

실시간 운영과 예외사항 대처



26

작업처리의 동기화

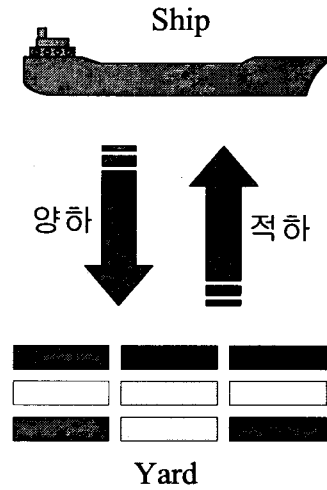


27

인공지능 응용 사례

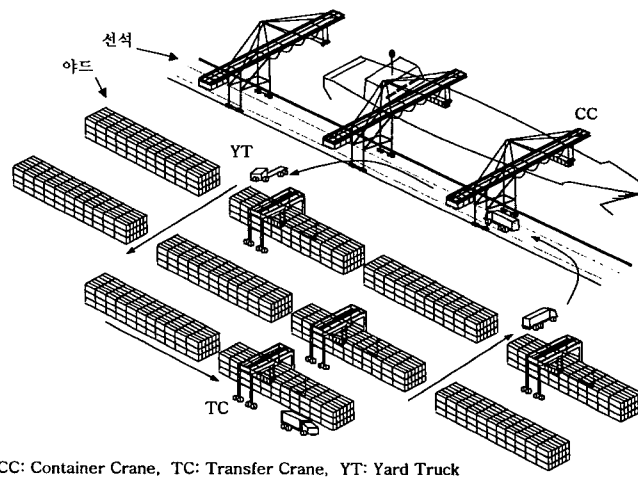
컨테이너 양적하 작업 계획

- 양하 작업
 - 컨테이너 터미널에서 수입 컨테이너를 선박으로부터 야적장으로 옮기는 작업
- 적하 작업
 - 컨테이너 터미널에서 수출 컨테이너를 야적장에서부터 선박으로 옮기는 작업



29

컨테이너 터미널의 구조



CC: Container Crane, TC: Transfer Crane, YT: Yard Truck

30

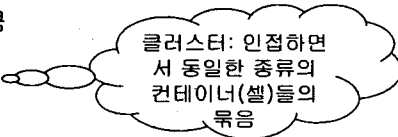
제약조건

- 선사의 요구사항(General Stowage Plan)
- 컨테이너 크레인 작업 계획(CC Work Schedule)
- TC간의 이동 및 작업 중 간섭 방지
- CC, TC의 작업 편의성(작업 능력)
- TC의 이동거리의 최소화
- 선박의 안정성 고려

31

계층 구조의 계획 시스템

- 개별 컨테이너 단위 계획
 - 탐색공간의 규모가 지나치게 큼
 - 1단계: 클러스터 단위 계획
 - 선박 및 야드 클러스터 생성
 - 선박 클러스터 작업순서 결정
 - 선박 클러스터와 야드 클러스터 간의 짝 결정
 - 2단계: 컨테이너 단위 계획
 - 1단계에서 짝 지어진 클러스터 내에서 개별 컨테이너 처리 순서 결정
 - Beam Search 등의 휴리스틱 기법으로 결정
- * 1단계 계획이 전체 결과에 큰 영향을 미침



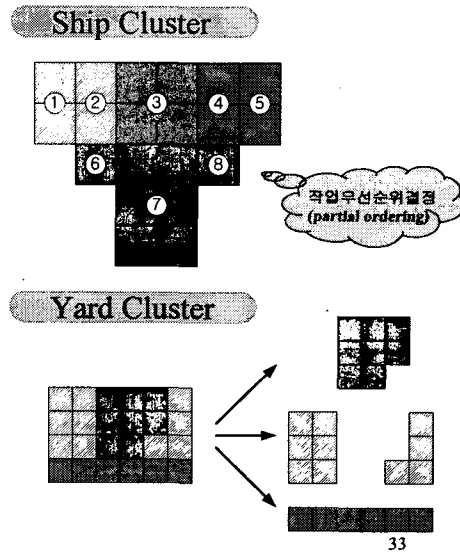
클러스터: 인접하면서 동일한 종류의 컨테이너(셀)들의 묶음

32

클러스터 단위 계획

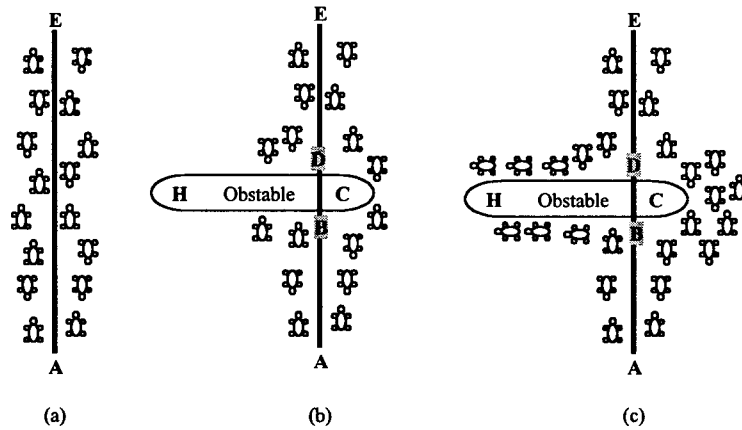
클러스터 생성

- 선박과 야드에서 각각 인접한 위치에 있으면서 같은 종류를 가지는 컨테이너를 그룹으로 묶는다.
- 선박 클러스터 생성시 작업의 유연성을 고려하여 인접하면서 동일한 타입을 가지더라도 두 개의 클러스터로 구분 가능
 - ex) 1과 2



- 선박 클러스터 작업 순서 결정 및 야드 클러스터와의 짝 결정
 - Ant colony optimization과 타부 탐색 이용
 - 두 방법의 장단점 분석 => 하이브리드 탐색 모색
- Ant colony optimization
 - 경로 설정 문제에 주로 이용(노드들의 방문 순서 결정)
 - Ex) TSP
 - 적용
 - 야드 클러스터 방문 순서 결정 문제로 봄
 - 노드: 야드 클러스터
 - 제약: 선박 클러스터의 작업 순서(partial ordering)에 의해 노드의 방문순서에 제약이 가해짐

■ 최단 경로를 찾는 예(Ant colony optimization)



35

■ 타부 탐색

• 후보해의 표현

- 윈도우: 선택의 작업 순서 변경이 가능한 최대 크기(베이 단위)
 - 하나의 partial ordering에 의해 작업 순서 결정

선택 클러스터	0	0	1	3	2	2	100	101	102	200		
야드 클러스터	5	6	6	1	2	3	10	10	1	5		
컨테이너 개수	3	2	5	7	3	4	5	5	6	3		

윈도우 1(1,3 H)

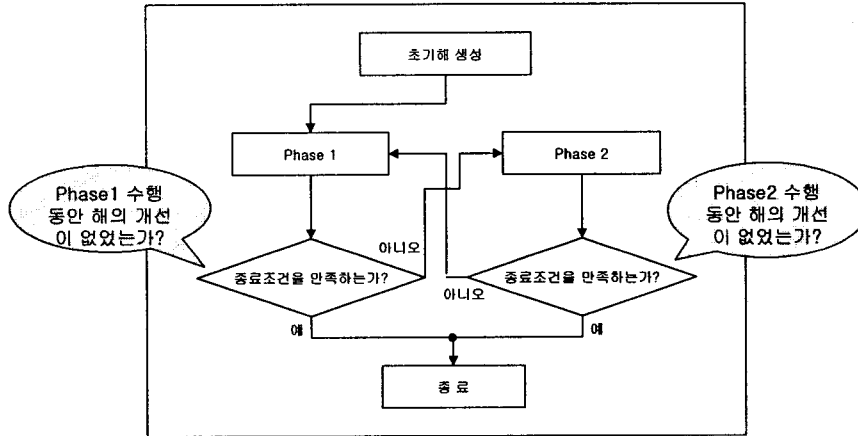
윈도우 2(1,3 D)

• 후보해의 생성

- Phase 1: 한 윈도우 내에서 선택클러스터의 작업순서를 교환하거나 짝 지워진 야드 클러스터 교환
- Phase 2: 윈도우간의 야드 클러스터 교환
- * 야드 클러스터의 교환은 동일한 종류의 클러스터간에만 가능
- * 클러스터의 컨테이너의 개수가 상이할 때는 하나의 클러스터를 두 개의 클러스터로 쪼갬 뒤 교환

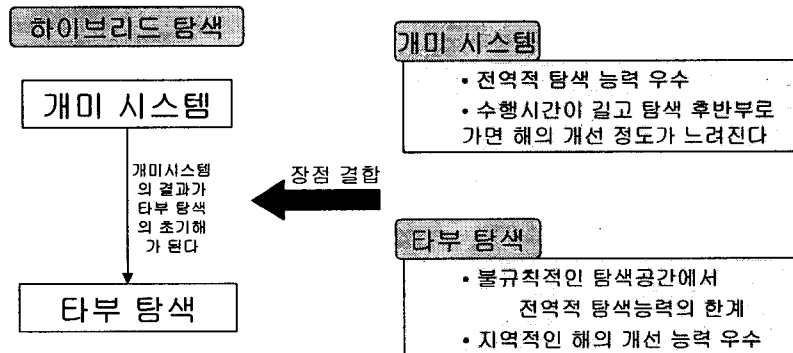
36

▪ 타부 탐색의 전체 수행 과정



37

▪ 하이브리드 탐색



38

각 탐색방법의 결과 비교

대상 문제	개미 시스템		타부 탐색		하이브리드 탐색	
	최저값 (평균값)	수행 시간	평가값	수행 시간	최저값 (평균값)	수행 시간
소규모	743 (743)	85초	744	15초	743 (743.8)	52초
중규모	4829 (4907.3)	45분	5716	1분 30초	4735 (4902.8)	24분
대규모	11681 (12135.8)	93분	15387	2분	11259 (11428.2)	33분

- 컨테이너 개수
 - 소규모: 313개, 중규모: 653개, 대규모: 1012개

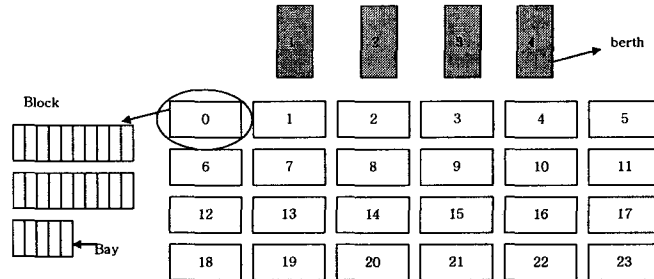
39

수출 장치장 계획

- 컨테이너 터미널의 수출 장치장
 - 수출 컨테이너들이 지속적으로 반입되어 해당 선박에 선적되기 까지 일시적으로 보관되는 장소
- 수출 장치장의 공간 계획
 - 공간 활용도 극대화
 - 선적 작업의 능률 극대화
 - 장치규칙 / 제약조건 준수
 - 제약조건만족 문제 (Constraint Satisfaction Problem)
 - 계획 대상 기간이 길기 때문에 탐색 규모가 방대함

40

수출 장치장



- 선석(Berth): 선박의 접안 위치
- 전체 장치장은 블록(Block) 단위로 구분
각 블록은 베이(Bay) 단위로 구분
- 동일 블록 내의 이동, 인접 블록 사이의 이동 → TC
블록과 선석 사이의 이동 → YT

41

제약 만족 탐색

- 제약조건만족문제 (CSP)
 - 변수들의 집합과 각 변수별 도메인(Domain) 및 변수들간의 제약조건으로 구성
 - 모든 변수들에 대해 해당 도메인으로부터 적절한 변수값을 지정하되 주어진 제약조건을 모두 만족해야 함
- 변수와 도메인
 - 변수 x_i : 동일 배, 동일 목적항, 동일 크기의 컨테이너 그룹 i
 - 변수의 도메인: 수출 장치장의 모든 베이들의 집합
- 제약 조건
 - 수출 장치장의 장비 효율과 관련된 제약 조건, 동일 선박에 선적되는 컨테이너들간의 제약 조건, 장치장의 블록 및 행과 관련된 제약 조건 등

42

예:

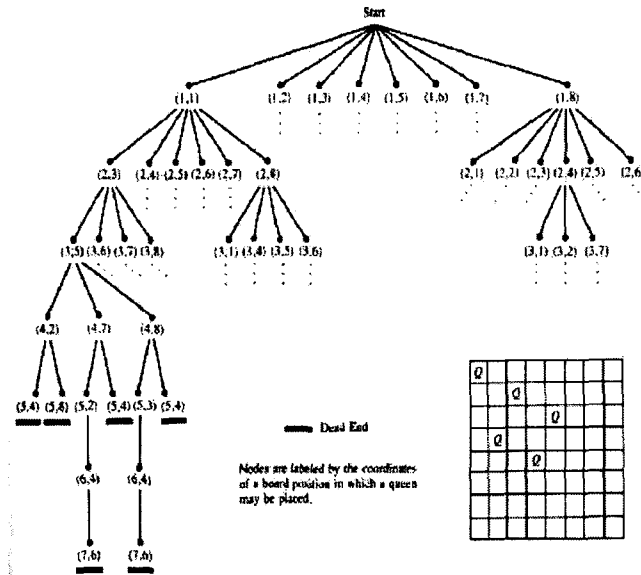


Figure 4.23 The eight-queens problem.

43

Dependency-Directed Backtracking

- 대규모의 탐색 공간
 - 여러 날에 걸친 계획 기간 동안의 컨테이너 물량에 대해 계획을 수립하므로 많은 변수와 변수값이 존재함
 - Chronological backtracking을 수행할 경우 탐색량이 지나치게 많음
- Dependency-directed backtracking
 - Backtrack을 발생시킨 원인을 찾아 한꺼번에 멀리까지 되돌아감
- 장치장 계획 문제에서의 적용:
 - 블록과 관계된 제약조건 고려
 - 행과 관계된 제약 조건 고려

44

실험 결과

- Chronological backtracking을 사용할 경우
 - 24 시간 이상 소요 되어도 해를 찾는데 실패.
- Dependency-directed backtracking 기법을 적용한 결과

실험	Case1	Case2
실험1	362초	371초
실험2	64초	76초
실험3	43초	53초

- 탐색 시간의 획기적 단축:
 - 예정 반입 물량의 변동에 따라 수시로 이루어져야 하는 계획의 재수립을 큰 부담 없이 신속히 할 수 있음

45

선석 / 크레인 일정계획

- Constraint Satisfaction and Optimization Problem:
 - 시간적 공간적으로 복잡한 제약 관계에 있는 선석과 크레인들을 충돌 없이 각 선박에 할당해야
 - 각 선박별 입출항 시간 최대한 준수
 - 정기선 / 부정기선
 - 터미널의 운영 비용 최소화
 - 장치장과 가까운 곳에 접안
 - 안벽의 부하 균등화
- Constraint satisfaction search + heuristic repair
 - Feasible solution 도출
 - 제약만족 탐색의 틀 내에서 해를 반복적으로 교정

46

제약만족 탐색

- 변수:
 - 선박의 입항예정시간, 출항예정시간
 - 선박의 접안위치
 - CC의 각 선박에 대한 서비스 여부
 - CC의 서비스 시작시간, 완료시간
- 변수의 순서 지정:
 - 접안위치 변수: 입항 예정 시간 순으로
(정기선에 우선 순위 부여)
- 변수값의 순서 지정:
 - 접안 위치 값을 선호 위치 순으로

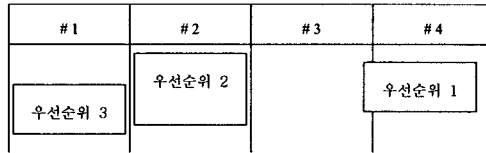
47

휴리스틱 교정

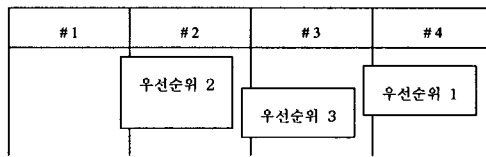
- 일부 변수들에 대한 변수값의 순서를 재 조정
한 후 제약만족 탐색을 다시 수행
 - 일부 변수들만의 변화 유도 → 신속한 탐색
- 교정 대상:
 - 접안 위치의 재 조정
 - 안벽 부하 평준화
 - 크레인 작업 시간 균등화

48

접안 위치 재 조정



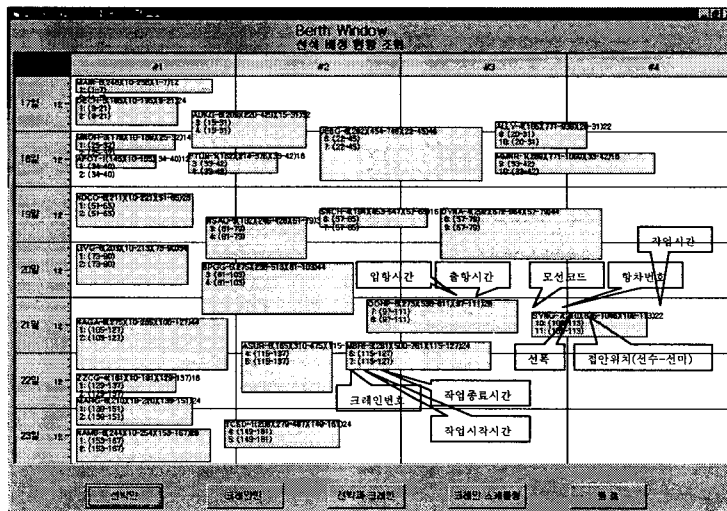
(a) 조정 전



(a) 조정 후

49

교정의 효과



50

Bath Window
선석 배당 현황 조회

	#1	#2	#3	#4
17일 10		선석번호: 110-21-110-21-110-21 A (10-21) B (9-21) C (9-21)	선석번호: 110-21-110-21-110-21 A (10-21) B (9-21) C (9-21)	선석번호: 110-21-110-21-110-21 A (10-21) B (9-21) C (9-21)
19일 12	선석번호: 110-21-110-21-110-21 A (10-21) B (9-21) C (9-21)	선석번호: 110-21-110-21-110-21 A (10-21) B (9-21) C (9-21)	선석번호: 110-21-110-21-110-21 A (10-21) B (9-21) C (9-21)	선석번호: 110-21-110-21-110-21 A (10-21) B (9-21) C (9-21)
18일 15	선석번호: 110-21-110-21-110-21 A (10-21) B (9-21) C (9-21)	선석번호: 110-21-110-21-110-21 A (10-21) B (9-21) C (9-21)	선석번호: 110-21-110-21-110-21 A (10-21) B (9-21) C (9-21)	선석번호: 110-21-110-21-110-21 A (10-21) B (9-21) C (9-21)
20일 18	선석번호: 110-21-110-21-110-21 A (10-21) B (9-21) C (9-21)	선석번호: 110-21-110-21-110-21 A (10-21) B (9-21) C (9-21)	선석번호: 110-21-110-21-110-21 A (10-21) B (9-21) C (9-21)	선석번호: 110-21-110-21-110-21 A (10-21) B (9-21) C (9-21)
21일 15	선석번호: 110-21-110-21-110-21 A (10-21) B (9-21) C (9-21)	선석번호: 110-21-110-21-110-21 A (10-21) B (9-21) C (9-21)	선석번호: 110-21-110-21-110-21 A (10-21) B (9-21) C (9-21)	선석번호: 110-21-110-21-110-21 A (10-21) B (9-21) C (9-21)
22일 18	선석번호: 110-21-110-21-110-21 A (10-21) B (9-21) C (9-21)	선석번호: 110-21-110-21-110-21 A (10-21) B (9-21) C (9-21)	선석번호: 110-21-110-21-110-21 A (10-21) B (9-21) C (9-21)	선석번호: 110-21-110-21-110-21 A (10-21) B (9-21) C (9-21)
23일 12	선석번호: 110-21-110-21-110-21 A (10-21) B (9-21) C (9-21)	선석번호: 110-21-110-21-110-21 A (10-21) B (9-21) C (9-21)	선석번호: 110-21-110-21-110-21 A (10-21) B (9-21) C (9-21)	선석번호: 110-21-110-21-110-21 A (10-21) B (9-21) C (9-21)

51

실험 결과

	수행 시간 (초)	선호 선석을 어긴 선박수		크레인 작업시간이 불균등한 선박수
		정기선	부정기선	
제약조건만 만족하 도록 한 결과	120	12	5	16
변수와 변수값 순서 를 지정하고 휴리스 틱 교정 기법을 적용 한 결과	5	0	2	0

52