

컨테이너 터미널에서 무인 야드 크레인을 위한 원격작업 인원 산정

† 박 영만 · 배 종욱*

† 해군사관학교 국방경영과학과, *전남대학교 물류교통학전공

요 약 : 컨테이너 터미널은 비용 절감과 생산성 향상을 위해 무인 야드 크레인을 운영하고 있다. 그러나 무인 야드 크레인이 상하차 작업을 안전하고 원활하게 수행하기 위해서는 작업자의 원격 통제가 필요하다. 상하차 작업은 다수의 야드 크레인에게 불규칙적으로 발생하며 다수의 원격 통제 작업자들은 교대로 작업 요청을 배정받아 원격 작업을 수행한다. 본 연구는 상하차 작업의 적정 서비스 수준을 고려하여 작업인력 비용과 대기비용의 합을 최소화하는 인력 산정 방법을 다루었다. 대기이론을 이용하여 원격작업 인력과 비용 요소의 변화에 따른 작업대기를 분석하였다.

핵심용어 : 컨테이너 터미널, 무인 야드 크레인, 대기이론, 원격작업 인원

연구의 필요성 및 목적

연구의 필요성

- 생산성 향상 및 운영비 절감을 위해 컨테이너 터미널의 자동화 추세
- 무인 야드 크레인(AYC) 운영 현장 확대(PNC, 한진 신항만, KBCT 등)
- 무인 야드 크레인 및 외부 트레일러간의 작업에 대한 안전성 및 효율성
- 무인 야드 크레인 원격작업 인력 효율적 운영

연구의 목적

- 무인 야드 크레인 원격작업 인력 산정에 대한 문제 정의
- 원격작업 적정 인력 산정 방법
- 컨테이너 터미널의 서비스 수준(대기시간) 만족
- 대기비용과 인력 운영 비용 최소화

무인 야드 크레인 원격작업

무인 야드 크레인 운영

- 본선작업
 - 야드 트랙터(Yard Tractor) 상하차 및 블록 내 저장/인출 작업 모두 자동화
- 반출입작업
 - 외부 트레일러 상하차 작업은 컨트롤 타워에서 원격 운전
 - 블록 내 저장/인출 작업은 자동화

무인 야드 크레인 원격작업

컨테이너 터미널의 주요 작업

- 본선 작업 : 선박 양적하 작업(C/C+AYC+YT)
- 반출입 작업 : 외부 컨테이너 반입 및 반출작업(AYC+ 외부 트레일러)

무인 야드 크레인 원격작업

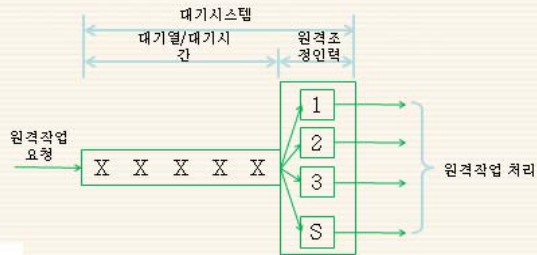
원격 조정 담당자 배정

† 교신저자 연희원 ymanpark@pusan.ac.kr
* 연희원, jwbae@jnu.ac.kr

원격작업 인원 산정 모형

대기이론

- 외부 트레일러 도착률 지수분포
- 원격 조정 작업자 서비스율 지수분포
- PCFS로 원격작업(상하차) 요청을 원격 조정 작업자에게 할당

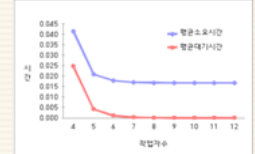
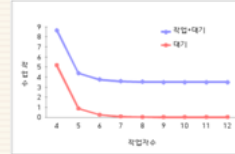


수치 실험 및 민감도분석

인원에 따른 대기율, 대기시간의 변화

A/C 35대에 원격작업 인원 몇 명이 필요한가?
 $A=35(\text{대}) \times 60/10=210(\text{대당 } 10\text{분에 } 1\text{번 작업발행})$
 $\mu=60(\text{작업소요시간은 } 1\text{분})$

s	4	5	6	7	8	9	10	11	12
p	0,875	0,7	0,5833	0,5	0,4375	0,3889	0,35	0,3182	0,2917



- > 평균대기시간이 10분 이상일 확률은 작업자가 4명일 때 0.5%
- > 작업인원이 6명 이상이면 평균대기작업은 1개 이하
- > 작업인원이 6명 이상이면 평균소요시간은 0.02시간(1.2분) 이내

원격작업 인원 산정 방법

M/M/S 모형

시간당 평균 작업도착수	λ
시간당 평균 작업처리수	μ
원격 작업자수	s
이용률	$\rho = \frac{\lambda}{s\mu}$
평균 대기작업수	$L_q = \frac{\lambda(\lambda/\mu)^s}{(s-1)!(s\mu-\lambda)^2} P_0$
평균 작업수	$L = L_q + \frac{\lambda}{\mu}$
평균작업시간	$W = \frac{L}{\lambda}$
평균작업대기 시간	$W_q = W - \frac{1}{\mu}$
시스템에 s개의 작업이 있을 확률	$P_n = \begin{cases} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} P_0, & n \leq s \\ \frac{(\lambda/\mu)^n}{s!(s\mu)^{n-s}} P_0, & n > s \end{cases}$
도착한 작업이 대기해야 할 확률	$P_{wait} = \frac{1}{s!} (\frac{\lambda}{\mu})^s (1 - \frac{\lambda}{s\mu}) P_0$
모든 작업자가 쉬고 있을 확률	$P_0 = \sum_{n=0}^{s-1} \frac{1}{n!} (\frac{\lambda}{\mu})^n + \frac{1}{s!} (\frac{\lambda}{\mu})^s (\frac{s\mu}{s\mu-\lambda})^{-1}$
(cost / server / unit time)	C_s
(waiting cost / unit time)	C_w

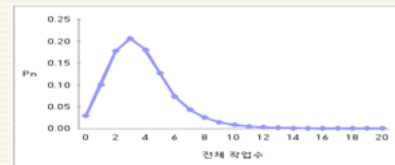
수치 실험 및 민감도분석

인원에 따른 총비용의 변화

s	4	5	6	7	8	9	10	11	12
비용1	50	100	120	140	160	180	200	220	240
비용2	888.5	488.18	474.86	487.82	482.82	480.85	480.19	480.06	480.01
총비용	948.5	588.18	494.86	497.82	612.82	580.85	580.19	570.06	580.01

> 총비용이 가장 적은 작업인원은 6명(총비용20, 대기비용100).

작업요청중인 A/C수에 대한 확률



원격작업수행을 위해 대기중인 A/C수에 대한 확률(작업인원이 8인 경우)

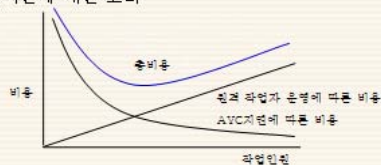
원격작업 인원 산정 방법

고려사항

- 무인 야드 크레인의 작업 빈도
- 무인 야드 크레인의 설치 및 운영비용에 대한 고려
- 원격 작업자의 작업소요시간
- 원격 작업자와 관련된 인력비용에 대한 고려
- 외부트레일러의 작업대기시간에 대한 고려

총비용

총비용 = 인당 운영비 \times 원격 작업 인원 + A/C 대기비용 \times 평균 작업수



수리모형

$$\text{Minimize } C_s \times s + C_w \times L$$

$$\text{subject to } W_q \leq 10/60$$

수치 실험 및 민감도분석

고용 관련비용의 변화에 따른 최적 작업인원

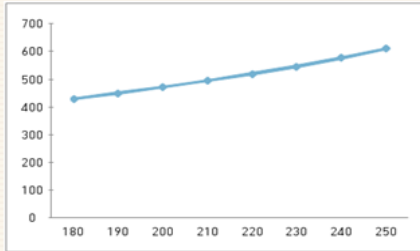
(지원비용 100인 경우)

작업인원 고용비용	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	588.50	488.18	474.86	482.82	482.82	486.85	470.19	470.06	470.01
10	908.50	488.18	484.86	427.82	482.82	440.85	480.19	480.06	470.01
15	928.50	518.18	484.86	482.82	472.82	456.85	600.19	618.06	680.01
20	948.50	588.18	494.86	497.82	612.82	580.85	580.19	570.06	580.01
25	988.50	588.18	524.86	582.82	582.82	575.85	600.19	625.06	680.01
30	988.50	588.18	554.86	587.82	582.82	620.85	680.19	680.06	710.01
35	1008.50	618.18	554.86	602.82	682.82	686.85	700.19	785.06	770.01
40	1028.50	688.18	614.86	687.82	672.82	710.85	780.19	790.06	880.01

- 총비용이 가장 적게 되는 조합은
- > 고용비용이 15이었던 경우에는 8명 또는 7명
- > 고용비용이 20이었던 경우에는 6명이 적합한 작업인원

수치 실험 및 민감도분석

작업 도차를 변화에 따른 총비용의 변화



(작업인원 6명, 운영비용 20 서비스 시간당 60인 경우)

> 작업으로 인한 AYC의 대기수가 거의 선형으로 증가하므로 총비용 또한 선형에 가깝게 증가

요약 및 향후 연구계획

연구 요약

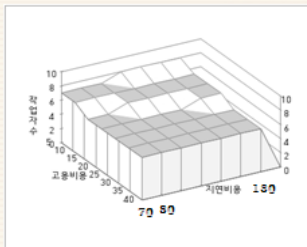
- 무인 야드 크레인과 유인 트레일러와의 작업연계를 다룸
- 고용관련비용 및 작업지연 비용을 고려하여 원격 작업인원 산정
- 비용요소의 변화에 따른 적절한 작업인원에 대한 분석

향후 연구계획

- 시뮬레이션 기법을 활용한 작업인원 결정 모형 분석
- 원격 작업자의 근무일정계획 수립방안
- 원격작업자의 효율적인 작업할당 계획

수치 실험 및 민감도분석

비용요소 변화에 따른 인력 증감

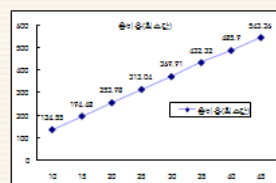
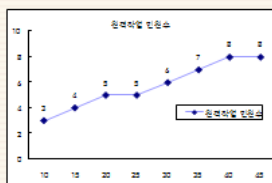


고용비용이 5~40이고 작업지연비용이 70~130일 때 총비용이 최소가 되는 작업인원

- > 지연비용이 크고 고용비용이 적으면 작업인원은 증가하고
- > 지연비용이 적고 고용비용이 많으면 작업인원은 감소하는 형태

수치 실험 및 민감도분석

AYC 수량변화에 따른 총비용 및 인력 증감



AYC의 수량이 증가함에 따라 최적 작업인원은 거의 선형으로 증가

AYC의 수량이 증가함에 따라 최적 작업인원에 따른 총비용은 선형으로 증가