

사이클론 기법 기반 생산자동화의 설비투자 의사결정 Framework에 관한 연구

정현기¹·이동수¹·배정훈¹·신성철^{1,†}·김수영¹·이재철²·정보용³
부산대학교 조선해양공학과¹
경상대학교 조선해양공학과²
엔피알티³

A Study on the Framework of Decision Making on the Facility Investment of Production Automation Using CYCLONE Techniques

Hyeon-ki Jeong¹·Dong-soo Lee¹·Jeong-hoon Bae¹·Sung-chul Shin^{1,†}·Soo-young Kim¹·Jae-chul Lee²·Bo-yong Jeong³
Pusan National University¹
Gyeongsang National University²
NPRT³

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

The marine equipment companies expanding facility investment in accordance with the booming economy are suffering from the reduced demand and the growth of chinese businesses. In this regard, the risk of overinvestment and the importance of prudent equipment investment must be reconsidered. Thus, in this study we performed a productivity and economical efficiency analysis in order to evaluate the investment value on production facilities in a company under the present conditions. The freezer of a fishing vessel manufactured by N company is selected as the subject of our study, while the assembly and welding cooling plates are configured as the scope of automation. Analysis on productivity and economical efficiency was conducted through CYCLONE (Cyclic Operation Network) simulation and economic analysis methods after analyzing the production process of freezer. The proposed analytical technique can be used to support the investment decision in production automation equipment of fishing vessels freezer.

Keywords : Productivity analysis(생산성 분석), Economic analysis(경제성 분석), CYCLONE Simulation(사이클론 시뮬레이션), Freezer of a fishing vessel(어선용 냉각기), Production automation(생산자동화)

1. 서론

1.1 연구배경

2008년 시작된 금융위기와 최근 조선소 인도량 및 신규수주 추이는 조선산업이 불황에 진입한 것을 나타내며, 조선기자재산업도 시간의 차이가 있지만 불황에 접어든 것으로 보고 있다(Lee, 2010). 현 상황에서 불량률로 인한 생산성 저하와 높은 인건비는 기자재업체에 큰 리스크로 작용하고 있다. 또한 산업의 구조면에서 볼 때 2차 산업이 중요한 비중을 차지하고 있는 우리나라는 임금의 저렴한 개발도상국의 추격으로 노동집약적인 2차

산업이 위협을 받고 있다. 이러한 리스크를 해결하기 위한 많은 방법들 중 품질향상 및 생산성 향상, 인건비 절감까지 달성할 수 있는 방법으로 공장 자동화(factory automation)를 들 수 있다(Jang, 1998). 일부 조선기자재업체는 자체 기술력보유 및 적절한 설비투자를 통해 시장 경쟁력을 갖추고 있다(Lee, 2010).

공장 자동화가 무조건 경제적이라는 사고는 과잉 투자문제를 야기할 수 있으므로 자동화기기를 설치하고자 할 때는 비용문제를 면밀히 검토해야하며 정확한 예측이 중요하다. 이는 자동화되지 않은 공정과 자동화된 공정에서 경제성분석기법 또는 특정 방법이나 측면에 대한 비용을 비교·검토가 필요하다는 것을 의미한다고 볼 수 있다(Jang, 1998).

1.2 연구동향

Lee (2010)는 데이터 부족으로 인한 생산성 예측이 힘든 건설 신기술의 사전 생산성을 시뮬레이션 기법으로 분석하고 예측하여 기초자료를 제공하고자 하였다. Jang (1998)은 S기업의 로봇 도입에 따른 경제성 평가를 실시하였다. 평가분석에서는 초기투자 비용 및 투자회수 기간을 고려하여 비교하였다. Kim (2010)은 선박 평형수 처리장치의 선내 배치에 대한 경제성 비교를 위한 준거 틀을 구성하고 처리장치들의 실제 값이 입력되면 그에 상응하는 경제성 값이 도출될 수 있도록 했다. Seck (2008)은 기존의 철골 및 PC구조에 썬기형 접합 장치를 적용하였을 경우에 대하여 시뮬레이션 기법으로 생산성을 분석하고 철골 및 PC공사 현장의 특성에 따른 생산성 및 경제성 분석을 수행하였다.

본 연구에서는 품질향상과 가격경쟁력을 위해 생산공정의 상호관계를 포함하는 사이클론 기법 기반 설비투자에 대한 의사결정 프레임워크를 제안하고, 현 시장의 비용정보와 같이 활용성이 높은 데이터를 기반으로 기업과의 실질적 적용을 기반으로 제안된 방법론의 유효성을 검증한다.

2. 설비투자 의사결정 Framework

생산자동화 설비투자에 대한 의사결정 기준을 제공하기 위해 생산성 분석기법 및 경제성 분석을 통해 의사결정을 지원하는 프레임워크를 제안한다. Fig. 1은 본 연구에서 제안하는 설비투자 의사결정 프레임워크의 구성이다.

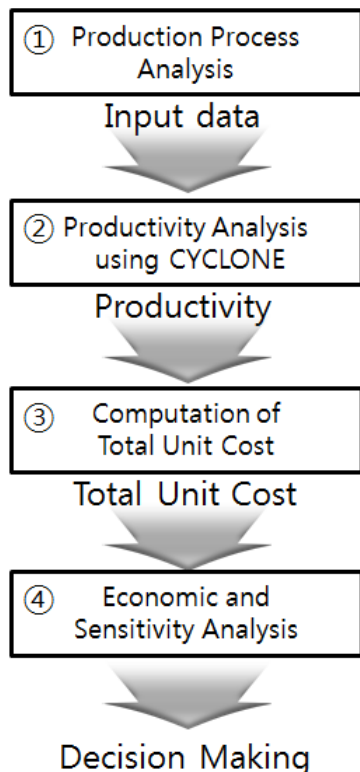


Fig. 1 The framework of decision making

2.1 생산공정 분석

생산공정 분석 단계에서는 적용대상 선정 후, 생산 매뉴얼 및 현장관찰을 통하여 적용대상의 생산공정을 분석하고 세부 공정별 투입자원 및 인력에 대한 데이터를 수집한다. 생산공정 및 관련 데이터를 바탕으로 적용대상 생산공정에 적합한 설비투자 대안을 설정한다.

2.2 사이클론 기법 기반 생산성 분석

생산성 분석 단계에서는 분석된 생산공정을 바탕으로 시뮬레이션 모델을 작성하고 유효성을 검토한 후, 각 투자대안에 대한 생산성을 분석한다. 생산성 분석기법은 불연속사건 시뮬레이션 (discrete event simulation) 기법 중 하나인 사이클론 기법을 채택하였다 (Jeong, 2015). Halpin에 의해 개발된 사이클론 기법은 순환되는 작업의 정보를 네트워크 형태로 나타낸다. 또한 공정 시뮬레이션의 형태인 사이클론은 Activity, Operation, Process, Work task 순으로 구분되어 자원 및 작업시간, 작업간의 논리적인 상호관계가 적용된 생산성 측정을 위한 관리도구로, 작업관계를 단순하게 표현할 수 있는 장점이 있다 (Halpin, 1992).

사이클론 기법은 독립적인 모듈로 구성되어있으며, 각각의 모듈은 전체시스템에서 개별 역할을 수행한다. 모듈은 다음 4가지로 구성되어 있다.

- ① 데이터 입력 모듈(data input module) : 현장에서 수집된 작업시간, 자원의 수, 작업의 프로세스에 관한 데이터를 입력을 수행한다.
- ② 시뮬레이션 모듈(simulation module) : 수집된 데이터를 사이클론 시뮬레이션으로 분석한다.
- ③ 결과 생성 모듈(report generation module) : 분석된 데이터에 관한 생산성을 그래프 및 도표로 산출한다.
- ④ 민감도 분석 모듈(sensitivity analysis module) : 사용자가 프로세스 상의 자원을 인위적으로 조절 가능하며, 변화하는 자원에 따른 생산성 값을 도출할 수 있게 한다.

2.3 단위비용 산출

단위비용 산출 단계에서는 하나의 완제품을 생산하는데 소요되는 비용을 산출한다. 노무비, 장비유지비, 토지임대료, 재료비에 대한 정보와 분석된 생산성을 입력자료로 활용하고, 계산식 (1)을 통해 투자대안 별 단위비용을 산출한다.

$$\begin{aligned}
 \text{Total unit cost} &= \frac{\text{Lab.} + \text{Equip.} + \text{Est.}(w/hr)}{\text{Cycle Productivity (cycle/hr)}} + \text{Materi.}(w/cycle) \\
 & \quad (1)
 \end{aligned}$$

· 노무비 Lab.(w/hr) : 제품생산을 위한 시간당 인건비

- 장비유지비 Equip.(w/hr) : 생산설비 운용에 관한 비용으로 전기세, 유지보수 비용 등을 포함
- 토지임대료 Esta.(w/hr) : 시간당 토지 임대료
- 재료비 Materi.(w/cycle) : 한 제품을 생산하기 위한 재료비
- 사이클 생산성 Cycle Productivity(cycle/hr) : 시간당 생산성

2.4 경제성 및 민감도 분석

경제성 및 민감도 분석 단계에서는 투자대안 별 단위 생산비용을 통해 현금흐름을 산출하고 경제성 및 민감도 분석을 수행한다. 경제성 분석 기법은 여러 판정기준 모두를 고려한 의사결정이 투자대안의 적용범위를 넓히거나 특정 상황에서 합리적인 선택을 할 수 있으므로 현금 흐름 특성을 고려하여 그에 적합한 기법을 적용한다 (Jang, 1998). 민감도 분석은 수익성에 영향을 미칠 수 있는 파라미터를 선정하고, 파라미터의 변화에 따른 결과를 분석한다.

3. 적용 사례

3.1 생산공정 분석

3.1.1 적용대상

최근 어패류 값의 급등으로 원양어선뿐만 아니라 중/소형 어선에도 필요한 N사의 수평형 냉각기를 대상으로 선정하였다. N사는 수평형 냉각기(Horizontal-Plate Freezer: HPF)의 국산화 및 적절한 설비투자를 통해 경쟁력을 확보하고자 한다. 연평균 판매량은 100대이며 이에 따른 투자에 대한 의사결정이 중요하다. 수평형 냉각기의 구성은 다음 Fig. 2와 같다 (Jeong, 2015).

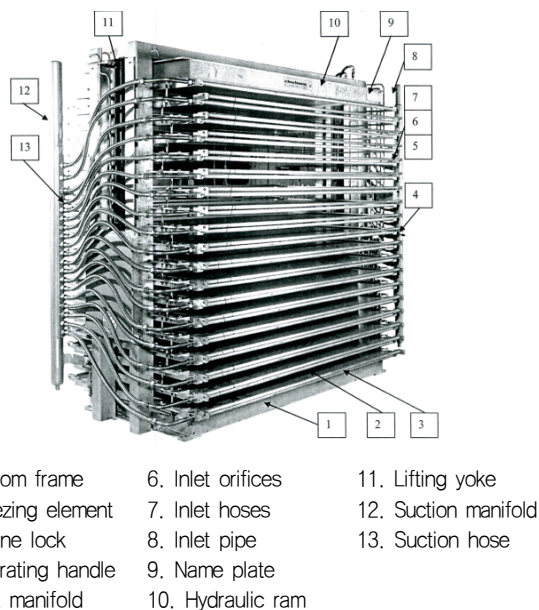


Fig. 2 Horizontal-Plate Freezer(HPF) components

3.1.2 수평형 냉각기 생산공정

수평형 냉각기의 생산공정은 생산매뉴얼과 현장 작업자의 실제 작업 공정을 바탕으로 분석하였다. 작업 순서는 다음과 같다.

- ① 프레임설치 : 자재로부터 수평형 냉각기의 기본 뼈대가 되는 주요 프레임에 조립한다.
- ② 냉각판 용접 : 냉각판 부재와 냉매가 유입되는 헤더의 용접을 수행한다.
- ③ 냉각판 조립 : 완성된 냉각판의 이동부터 프레임에 결합하는 공정을 수행한다.
- ④ 냉매호스 연결 : 냉각판의 헤더와 냉매가 유입되는 호스를 연결한다.
- ⑤ 기타설비 설치 : 리프팅 요크, 네임드 냉각판, 냉매 파이프 등의 기타 설비를 설치한다.
- ⑥ 순환체계 확인 : 수평형 냉각기 조립 후 냉매의 적절한 유입 및 순환체계를 확인한다.

3.1.3 투자대안 설정 및 입력자료 분석

투자대안은 생산공정 분석에서 소요 작업시간 및 자동화 효율성을 기준으로 수동용접(사례 A), 자동용접&밀링(사례 B), 자동용접&밀링 및 조립(사례 C)로 설정하였다. 작업의 순서에 따라 시뮬레이션 자료 입력을 위해 작업별 작업인원, 필요한 장비, 작업시간을 정리하면 Table 1과 같다. 작업은 프레임 설치, 냉각판 용접, 냉각판 조립, 냉매호스 연결, 기타설비 설치, 순환체계 확인으로 분류 한다. 작업인원은 설치작업조로 2인으로 구성하였으며 장비는 주행 크레인, 냉매펌프가 사용된다. 투자대안 별 작업 방법과 소요시간에서 차이가 생기므로, 자동화 공정개선을 등을 고려하여 냉각판 용접&밀링 및 조립공정에 대한 추가적인 작업인원, 장비 및 소요 시간을 설정하였다. Table 2는 투자대안 별 추가적인 작업인원, 장비 및 소요시간에 대한 자료이다.

Table 1 Simulation input data of HPF production

Work	Laborer	Equipment	Time(min)
① Frame installation	L2	Traveling crane	150
② Plate welding & milling	W2 L2	Traveling crane	950
③ Assembly of plate	L2	Traveling crane	30
④ Connection of hoses	L2	Traveling crane	200
⑤ Installation of attached equipment	L2	-	150
⑥ Inspection of irculation system	L2	Pump	150

주: L(worker), W(welder)

Table 2 Additional input data case by case

Case	Laborer	Equipment	Time(min)
A. Manual welding & milling	W2 L2	An manual welding machine	950
B. Automatic welding & milling	-	An automatic welding & Milling machine	475
C. Automatic welding & milling and assembly	-	An automatic welding & Milling machine	475
		An automatic assembly machine	312

주: L(worker), W(welder)

3.2 생산성 분석

3.2.1 시뮬레이션 모델

사이클론 시뮬레이션 모델은 앞서 분석된 6개의 주요 생산 공정(사각형)을 중심으로 세부공정(원형)과 그에 따른 상호관계 및 순서(화살표)로 구성 하였다. 시뮬레이션 모델에서 주행 크레인이 사용되지 않는 기타설비 설치와 순환체계 확인 공정의 세부 시간은 소단위의 간단한 세부공정으로 이루어진 것이므로, 편차가 거의 발생하지 않는 고정적인 작업시간으로 관찰되었다. 공정에서 크레인의 사용 및 기타 요인으로 편차가 존재하는 작업시간의 경우 평균값으로 가정하였다. 이에 편차가 없는 공정에 대해서 작업시간은 결정 값으로 적용되며, 편차가 발생하는 프레임 설치, 냉각판 용접, 호스연결, 냉각기 조립 공정의 작업시간은 평

균값으로 적용하였다. 자동 용접&밀링의 경우 장비의 작업속도와 작업 가능 시간을 고려하여 50%의 공정개선율을 적용하였고 자동 조립의 경우는 K사의 자동조립 로봇의 공정개선율 17%를 적용하였다. Fig. 3은 수형형 냉각기의 생산공정에 대한 사이클론 시뮬레이션 모델을 나타낸 것이다 (Jeong, 2015).

3.2.2 시뮬레이션 모델 검증

각 투자대안에 대한 생산성을 분석하기 전 시뮬레이션 모델의 유효성을 검증하기 위해, 용접된 냉각판 및 기타 자재가 준비되어 있는 상태에서 조립공정만 수행하는 현재의 작업공정을 바탕으로 시뮬레이션 모델을 검증하였다.

Table 3 CYCLONE Simulation results for effectiveness of model test

Productivity information			
Total Sim. Time Unit	Cycle No	Productivity (cycle/min)	Hour per cycle
115,113.7	124	10.77E-4	15.47

시뮬레이션 결과를 살펴보면 수형형 냉각기 1개를 생산하는데 순수 작업시간은 15.47시간으로 나타났으며, 분당 생산성은 10.77E-4로 나타났다. N사 월평균 생산량을 기준으로 산정한 수형형 냉각기 1개를 생산하는데 소요되는 순수 작업시간은 16시간으로 시뮬레이션을 통해서 산출된 소요 작업시간 15.47시간과 96.6% 근접치를 나타내었다. 따라서 본 연구에서 제시한 모델은 각 투자대안들에 대한 생산모델로 적합하다고 판단되었다.

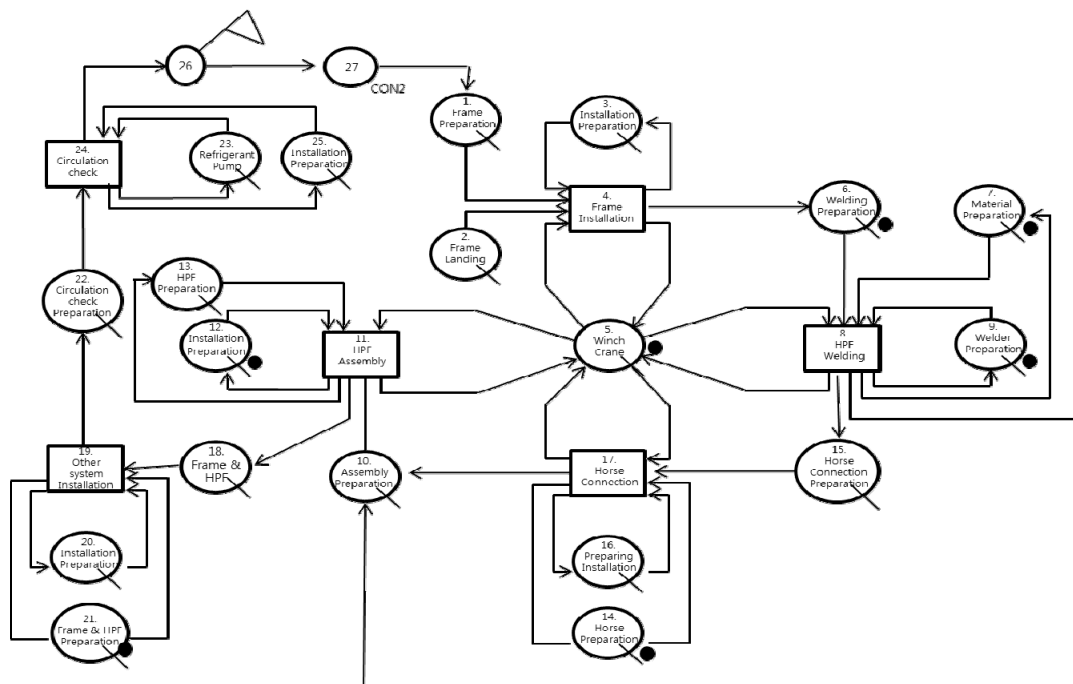


Fig. 3 CYCLONE Simulation model of manufacturing process

3.2.3 시뮬레이션 결과

수평형 냉각기의 CYCLONE 시뮬레이션 수행에 따른 결과를 살펴보면 115,200분 동안 200회의 제한조건으로 생산성을 분석하였다. 이에 따라 생산속도는 용접 및 조립 자동화(사례 C), 자동 용접(사례 B), 수동용접(사례 A) 순으로 빠르게 진행되었다. 다음 Table 4는 시뮬레이션 사례에 따른 생산성을 나타낸 것이다.

Table 4 CYCLONE simulation results

Case A. manual welding			
Total Sim. Time Unit	Cycle No.	Productivity (cycle/min)	Hour per cycle
115,175.5	96	08.33E-4	19.99
Case B. automatic welding			
Total Sim. Time Unit (hour per cycle)	Cycle No.	Productivity (cycle/min)	Hour per cycle
114,836.3	120	10.44E-4	15.94
Case C. automatic welding and assembly			
Total Sim. Time Unit (hour per cycle)	Cycle No.	Productivity (cycle/min)	Hour per cycle
115,182.7	131	11.37E-4	14.61

3.3 단위비용 산출

3.3.1 시간당 비용 분석

수평형 냉각기 생산공정 자동화의 경제성 분석을 위해 노무비, 재료비, 장비유지비, 토지임대료에 대하여 시간당 비용을 분석하였다. 수평형 냉각기의 생산에 따른 노무비는 실제 N사 작업자의 노무비에 근거 하였으며, 재료비, 토지임대료, 장비유지비는 현장 방문조사 및 장비 업체의 견적 금액에 근거로 하여 작성하였다.

노무비의 시간당 비용은 N사 작업자에 대한 평균 노무비에 근거하여 시간당 직종별 '노무비 합계/8시간'을 가정하였다. 장비는 타워크레인과 냉매펌프가 모든 사례에 공통적으로 사용되므로, 이에 대한 장비유지비는 제외 하고 각 투자대안에 대해 자동 용접 및 조립 장비에 대한 사용 '유지비/8시간'을 기준으로 하였다. 토지임대료의 경우는 130평 크기의 '공장 임대료/8시간'을 적용하였다. 재료비는 시간당 금액이 아닌 수평형 냉각기 1개를 만드는데 필요한 금액으로 적용하였다. Table 5는 각각의 비용에 대한 시간당 비용이다.

Table 5 The amount of cost per hour

	Welder (₩/hr)	Worker (₩/hr)	Welding equip (₩/hr)	Assembly equip (₩/hr)	Estate (₩/hr)
Cost	21,875	12,500	1,850	3,750	12,500

3.3.2 투자대안 별 단위비용 산출

구성된 시뮬레이션 모델링을 토대로 수동 용접(사례 A), 자동 용접&밀링(사례 B), 자동 용접&밀링 및 조립(사례 C)에 대한 시간당 생산성과 단위 비용을 분석 하였고, 경제성 분석을 위해 사이클에 따른 투자대안 별 단위비용을 계산식 (1)을 통해 산출하였다. Table 6은 시뮬레이션 사이클에 따른 각 투자대안 별 단위 비용 합계 금액이다.

Table 6 The total unit cost case by case

	Labor cost (₩/cycle)	Equipment cost (₩/cycle)	Estate cost (₩/cycle)	Material cost (₩/cycle)	Sum (Lab.+Equip.+Estate.+Material.)
A	1,375,000	3,000	250,000	33,750,000	35,378,000
B	399,361	29,552	199,680	33,750,000	34,378,593
C	366,569	82,111	183,284	33,750,000	34,381,964

Productivity (cycle/hr) A: 0.0500, B: 0.0626, C: 0.0682

3.4 경제성 및 민감도 분석

3.4.1 경제성 분석기법

경제성 분석 기법은 한 가지 판정기준에 의존하지 않고 여러 판정기준 모두를 고려한 의사결정이 투자대안의 적용범위를 넓히거나 특정 상황에서 합리적인 선택을 할 수 있으므로 여러 기법을 적용하였다.

민감도 분석은 판매량의 변화에 따른 현금흐름을 산출하고 그에 따른 경제성 분석을 수행하였으며, 다음 3가지 기법을 활용하였다.

- ① 회계적이익률법(accounting rate of return): 투자안의 평균 이익률을 산출하여 이를 투자안의 평가기준으로 삼는 방법이다.
- ② 순현재가치법(NPV, Net Present Value): 최초 투자시기부터 사업이 끝나는 시기까지의 연도별 순 현금흐름을 각각 현재가치로 환산하여 그 합으로 투자가치를 판단하는 방법이다.
- ③ 수익성지수법(PI, Profitable Index): 순현재가치법과 유사한 개념으로 현금유입의 현재가치를 현금유출의 현재가치로 나누어 투자가치를 판단하는 방법이다.

3.4.2 투자대안의 현금 흐름 분석

경제성 분석에 앞서 제시한 세 가지 대안(수동용접, 자동용접 & 밀링, 자동 용접 및 조립)을 대상으로 현금흐름을 분석하였다. 초기 투자 자본에 관해 자동화 장비의 가격이 투자비용의 큰 부분을 차지하므로, 수동용접에 2,000만원, 자동용접&밀링에 2억 원, 자동용접&밀링 및 조립에 3억 원을 당해 연도투자 원금으로

적용하고, 이후 연간 현금 유출 금액은 단위생산 비용을 적용한다. 연간 현금 유입은 현재 연 판매량 100개를 기준으로 매년 5%의 시장 점유율 상승과 그에 따른 판매량을 적용하여 산출하는 것으로 가정한다. 경제성 분석에 사용되는 기준할인율은 N사의 지난 5년간의 수익률을 바탕으로 25%로 설정하였고, 설비투자 시점부터 앞으로 5년간에 대한 현금 흐름을 대상으로 선정하였다. 각 투자대안의 순 현금흐름의 세부사항은 Table 7과 같다.

Table 7 Net cash flow case by case (₩)

year	Case A (₩)	Case B (₩)	Case C (₩)
0	-20,000,000	-200,000,000	-300,000,000
1	962,000,000	1,062,141,000	1,061,804,000
2	1,010,310,000	1,115,248,000	1,114,894,000
3	1,058,420,000	1,168,355,000	1,167,984,000
4	1,116,152,000	1,232,084,000	1,231,693,000
5	1,173,884,000	1,173,884,000	1,295,401,000

금전거래는 1년 내의 어느 시점에서든 발생할 수 있지만, 연중에서의 복리계산 효과를 무시하고 연말의 현금흐름으로 처리하는 것이 편리하므로, 본 연구에서는 연도 말에 발생하는 현금흐름으로 가정 한다 (John, 1999). Fig. 4는 투자대안에 관련한 현금흐름의 발생시점과 크기를 예시하기 위해 순 현금흐름도를 도식화하였다.

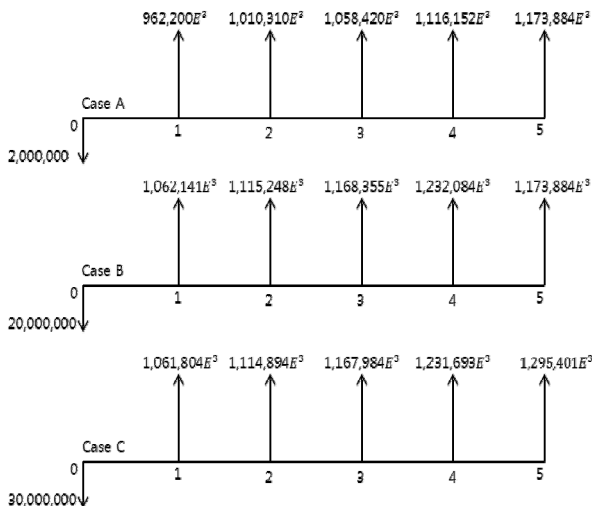


Fig. 4 Net cash flow chart case by case (₩)

3.4.3 경제성 분석 결과

앞서 분석한 현금흐름을 바탕으로 경제성 분석을 하였다. 경제성 분석결과 세 가지 대안 중 자동 용접&밀링(사례 B)이 가장 합리적인 대안으로 나타났다. 사례 B는 사례C에 비해 8.7% 낮은 생산성을 나타내지만 낮은 단위생산 비용으로 회계적이익

률법, 순현재가법, 수익성지수법에서 가장 효율적인 투자 방안으로 나타났다. 사례 C는 사례 A, B에 비해 연간 35개, 11개의 수평형 냉각기를 더 많이 생산할 수 있는 높은 생산성을 나타내었지만 수요가 한정적인 현 상황에 최적의 투자방안이라고 판단하기는 어렵다. Table 8은 세 가지 투자대안에 대한 경제성 분석 결과이며, Fig. 5는 결과 비교 그래프이다.

Table 8 Results of the economic analysis

	Case A	Case B	Case C	Adopted Case
ARR	152.5%	155.4%	154.6%	B
NPV	₩ 27.80E8	₩ 28.90E8	₩ 27.89E8	B
PI	1.2695	1.2833	1.2707	B

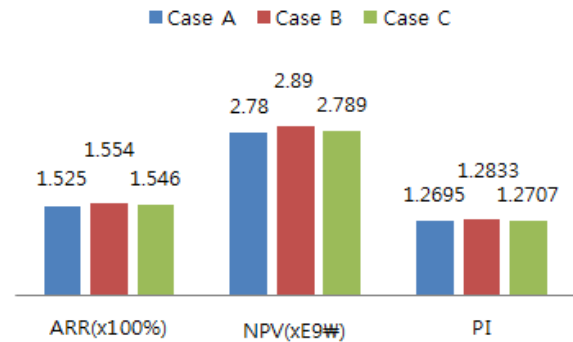


Fig. 5 Result comparison of the economic analysis

3.4.4 민감도 분석 결과

민감도 분석은 수요시장에서 판매량의 불확실성으로 판매량을 기존 100개의 판매량 각각 75개, 125개, 150개로 설정하여 추가적으로 경제성 분석을 수행하였다.

사례 B는 각각 다른 판매량에서도 회계적이익률법, 순현재가법, 수익성지수법에서 가장 효율적인 투자 방안으로 나타났다. 따라서 자동 용접&밀링(사례 B)은 시장의 환경변화 및 판매량에 큰 영향을 받지 않는 것으로 판단된다. Fig. 6, 7, 8은 각 투자대안에 대한 판매량 75개, 125개, 150개 일 때의 경제성 분석 결과이다.

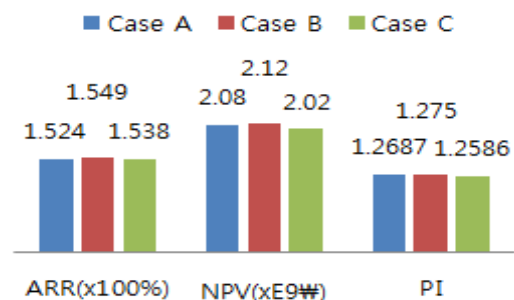


Fig. 6 Result comparison of the economic analysis depending on sales "75"

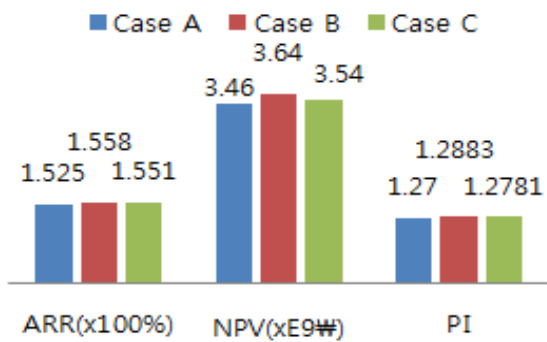


Fig. 7 Result comparison of the economic analysis depending on sales "125"

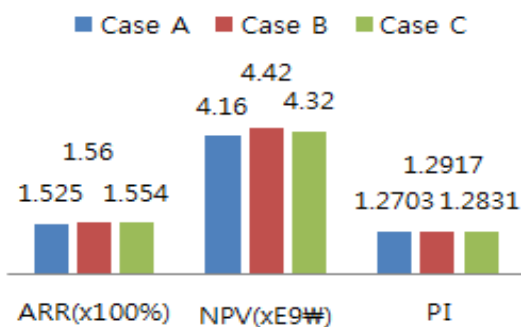


Fig. 8 Result comparison of the economic analysis depending on sales "150"

4. 결론

본 연구는 생산자동화 설비투자에 관한 의사결정 기준을 제공하기 위해 프레임워크를 제안하였다. 수평형 냉각기를 대상으로 하여 설비투자 대안에 대한 생산성을 분석하고 그에 따른 단위 비용 산출하였다. 산출된 단위비용을 경제성 분석을 위한 데이터로 활용하여 신뢰성 있는 경제성 및 민감도 분석을 수행하였다. 본 연구의 결과는 다음과 같다.

- ① 본 연구는 수평형 냉각기를 생산하는 현장 방문을 통하여 공정을 분석하고 작업에 투입되는 자원, 작업시간 비용을 도출하였다.
- ② 현장 분석 데이터를 분석한 결과, 모든 재료가 준비된 상태에서 수평형 냉각기의 조립공정에 소요되는 시간은 16시간이었으며 이를 시뮬레이션 적용 시 15.47시간으로 예측되었다. 이는 96.6%의 근접치로 분석된 생산모델의 유효함을 검증하였다.
- ③ 검증된 생산 모델을 활용하여 세 가지 대안(수동용접, 자동용접&밀링, 자동용접&밀링 및 조립)을 대상으로 시뮬레이션을 수행하였고 그에 따른 단위 비용을 산출하였다.
- ④ 각 투자대안에 소요되는 초기 투자비용과 생산성에 따른 단위 비용을 바탕으로 투자대안의 현금흐름을 분석하였다.
- ⑤ 분석된 현금흐름을 바탕으로 경제성 및 민감도 분석 통하

여 투자대안에 대해 분석하였다. 투자대안 중 냉각판 용접 & 밀링 공정(사례 B)을 자동화 하는 것이 현재 상황에서 가장 적절한 의사 결정으로 판단되었다.

생산성 분석을 위한 시뮬레이션 모델과 실제 현장에서의 작업 공정은 차이가 있었다. 실제로 작업인원이 생산 공정을 진행하면서 기타 작업을 수행하지만, 시뮬레이션에서는 작업자들이 생산 공정에만 참여하는 것을 원칙으로 했고 작업자의 숙련도나 작업 간 발생할 수 있는 작업 중단 등에 대한 요소를 반영하지 않았다. 또한 현재의 생산 공정은 자동화에 따라 개선될 수 있지만 동일한 생산 공정으로 가정했다. 경제성 및 민감도 분석에서는 초기 투자비용에 대해 설비비용만 적용하였다.

향후, 생산성 및 경제성 분석에서 실제 작업공정과 차이, 자동화 도입을 위한 프로젝트 비용, 공간 확보, 교육비와 같은 기타 요소들이 고려된다면 더욱 정확한 의사결정의 기준을 제공할 수 있을 것이며, 실제 조선기자재 분야에서 설비투자 의사결정을 위해 활용도가 높은 기초자료가 될 것으로 생각된다.

후 기

이 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음

References

Halpin, D.W. & Riggs, L.S., 1992. *Planning and Analysis of Construction Operations*. Wiley Interscience: USA, New York.

Jang, G.W., 1998. *An Economic Evaluation for The Introduction of an Industrial Welding Robot in Factory Automation*. Daegu: Daegu University.

Jeong, H.K. Lee, D.S. Lee, J.C. Bae, J.H. Shin, S.C. Kim, S.Y. & Jeong, B.Y., 2015. A Study on the Effectiveness of Production Automation for Freezer of Fishing Vessel with the Productivity and Economic Analysis. *Journal of the Society of Naval Architect of Korea*, 52(1), pp.439-445.

John, A.W. Kenneth, E.C. David, B.P. & Marvin, H.A., 1999. *Principles of Engineering Economic Analysis*. 4 Ed. Wiley Interscience: USA, New Jersey.

Kim, S.Y. Shin, S.C. Chung, B.Y. Jo, J.H. & Kang, B.Y., 2010. A Study on the Economic Analysis for Ballast Water Treatment System. *Journal of the Society of Naval Architect of Korea*, 47(2), pp.19-24.

Lee, E.C., 2010. *Competitiveness Analysis of the Domestic Ship Equipment Manufacturers. No. 14.* Seoul: Hana Institute of Finance.

Lee, J.H. Lee, K.S. Kim, H.M. Kim, Y.S. & Han, S.W., 2010. Construction Performance Evaluation of Steel Staircase Systems based on Construction Simulation CYCLONE Techniques. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 10(6), pp.19-26.

Seck, H.S., 2008. *A Study on the Productivity and Economic Efficiency of the PC Structure and the Steel Beam: Focusing on the Application of the Newest Connectors.* Sejong: Hongik University.

