

흙관매설 자동화 장비의 성능분석을 위한 평가모델의 개발

Development of the Evaluation Model for Performance Analysis of a Tele-operated Hume Concrete Pipe Laying Machine

유 연 택* · 박 상 준* · 이 정 호** · 정 명 훈* · 김 영 석***

Ryu, Yeon-Taek · Park, Sang-Jun · Lee, Jeong-Ho · Jeong, Myung-Hoon · Kim, Young-Suk

요 약

건설 자동화 장비 개발의 성공여부를 판단하고 이를 실용화하기 위해서는 개발 장비의 성능평가 및 분석을 통해 재래식 방식과 비교하여 자동화 방식을 도입함으로써 얻을 수 있는 기대효과에 대한 검증이 이루어져야 한다. 본 연구에서는 최근 국내에서 개발된 흙관매설 자동화 장비의 성능분석을 위한 평가모델 및 방법론을 구축하고 수차례의 현장실험(field trials)을 통해 수집된 실험 데이터를 바탕으로 재래식 흙관매설 방식과 자동화 방식의 성능을 종합적으로 비교·분석함으로써 재래식 방식에 비해 자동화 방식의 도입을 통해 얻을 수 있는 정성적·정량적 기대효과를 제시하였다. 흙관매설 자동화 장비의 성능분석을 위해 본 연구에서 제시한 성능평가 모델 및 방법론은 향후 건설자동화 관련 기술개발 시 자동화 장비의 성능평가 및 분석 모델을 개발함에 있어 기본적 틀/framework)을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

키워드 : 흙관, 성능평가, 생산성, 경제적 타당성, 건설 자동화, 로봇

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 국내에서는 재래식 흙관매설 작업이 가지고 있는 터파기 사면 붕괴, 흙관 추락 및 충돌로 인한 안전사고의 위험, 무리한 관이음에 의한 파손 및 접합상태 불량으로 인한 품질 확보의 어려움, 작업 생산성 저하와 인건비 상승으로 인한 채산성 확보의 어려움 등의 문제점을 해결하고자 흙관매설 자동화 장비가 개발되었다(한국건설기술연구원, 2003). 건설 자동화 기술개발의 성공여부를 판단하고 개발 장비를 실용화하기 위해서는 개발 장비의 성능평가 및 분석(performance evaluation and analysis)을 통해 재래식 방식과 비교하여 자동화 방식을 도입함으로써 얻을 수 있는 정성적·정량적 기대효과(qualitative and quantitative benefits)에 대한 검증이 요구된다.

그러나 현재까지 자동화 장비 개발을 위한 기초적 타당성 분석, 자동화 장비 개발 프로세스 및 최적대안 선정, 자동화 장비 모체 개발 등에 대한 연구는 다수 수행되었으나 실용화나 마케팅 관점에서 개발이 완료된 자동화 장비를 대상으로 개발 장비의 성능(performance; 생산성, 경제적 타당성, 안전성, 품질 등의 측면에서 자동화 장비가 갖고 있는 성질이나 기능)을 종합적으로 평가 및 분석할 수 있는 성능평가 모델 및 방법론의 제시는 미흡했던 것으로 사료된다.

따라서 본 연구에서는 흙관매설 자동화 장비를 대상으로 개발 장비의 성능분석을 위한 성능평가 모델 및 방법론을 제시하고, 현장실험 데이터를 바탕으로 재래식 흙관매설 방식과 자동화 방식의 성능을 종합적으로 비교·분석하였다. 흙관매설 자동화 장비의 성능분석 및 평가 결과는 개발 자동화 장비의 성공여부를 판단하고 이를 실용화하기 위한 개발 주체 및 사용자(end user)의 기초 자료로 활용될 수 있다. 또한, 흙관매설 자동화 장비의 성능분석 및 평가를 위해 본 연구에서 제시한 성능평가 모델 및 방법론은 향후 건설자동화 관련 기술개발 시 자동화 장비의 성능평가 및 분석 모델을 개발함에 있어 기본적 틀/framework)을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

* 학생회원, 인하대학교 건축학부 석사과정

** 학생회원, 인하대학교 건축학부 박사과정

*** 종신회원, 인하대학교 건축학부 조교수, 공학박사

○ 이 연구는 건설교통부 산학연 공동연구 개발사업(과제번호 : 2000지정 43-1) 과제 결과의 일부임.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 개발 완료된 흡관매설 자동화 장비를 대상으로 성능평가 모델 및 방법론을 제시하고 흡관매설 자동화 장비의 성능평가를 수행하였다. 이를 위해, 본 연구에서 수행한 연구의 방법은 다음과 같다.

- (1) 각종 시방서 분석 및 현장조사를 통해 재래식 흡관매설 작업 프로세스상의 문제점을 도출하고 이를 개선할 수 있는 대안으로써 흡관매설 자동화 장비를 개발하였다.
- (2) 성능평가 모델 및 방법론의 제시를 위해 재래식 흡관매설 작업 프로세스와 자동화 작업 프로세스의 비교·분석을 선행하였다.
- (3) 재래식 흡관매설 방식과의 비교가 가능하도록 자동화 장비의 생산성, 경제적 타당성, 안전성 및 품질 측면에서 각각의 성능평가 모델 및 방법론을 제시하였다.
- (4) 제시된 성능평가 모델 및 방법론을 바탕으로 다수의 실험실 및 현장 실험을 통해 수집된 데이터들을 이용하여 흡관매설 자동화 장비의 성능평가를 수행하였다.
- (5) 흡관매설 자동화 장비의 성능평가 결과를 토대로 재래식 방식에 비해 자동화 방식의 도입을 통해 얻을 수 있는 정성적·정량적 기대효과를 제시하였다.

그림 1은 본 연구의 방법을 도식화한 것이다.

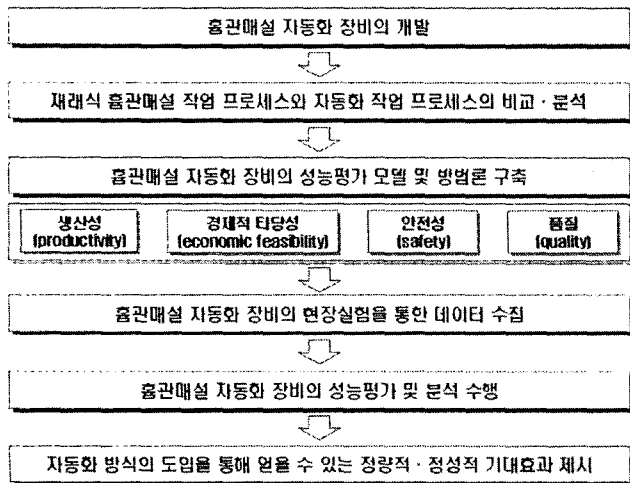


그림 1. 연구의 방법 및 절차

2. 흡관매설 자동화 장비의 개발

2.1 흡관매설 자동화 장비의 개발

현장 방문 및 각종 시방서 분석을 통한 국내 흡관매설 공사의 표준작업과정은 그림 2와 같이 '터파기', '흡관매설', '되메우기' 공정으로 분류된다(원영호, 2001).

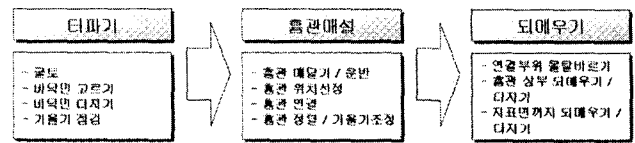


그림 2. 재래식 흡관매설 공사의 표준작업과정

본 연구에서는 설문조사 및 흡관매설 공사의 자원투입 비율-자동화기술 도입지수에 관한 매트릭스(cost-concern matrix) 분석 결과(손석호, 2001)를 바탕으로 표준작업과정 중 '흡관매설' 공정을 자동화 작업 대상으로 선정하여 그림 3과 같은 흡관매설 자동화 장비의 프로토타입(prototype)을 개발하였다.

개발된 흡관매설 자동화 장비의 프로토타입은 흡관매설 작업을 위해 요구되는 동작 및 성능을 모두 구현할 수 있도록 6 자유도 운동이 가능한 스투어트 플랫폼(SPM; Stewart Platform Manipulator)¹⁾을 기반으로 하고 있으며, 그림 3과 같이 백호와의 결속 및 해체를 용이하게 하기 위한 연결부, 흡관매설 작업 시 6 자유도 운동을 지원하는 구동부, 흡관 연결 시 삽입 기능을 담당하는 슬라이딩(sliding)부, 흡관 결속 및 운반, 연결작업을 수행하는 집계부로 구성되어 있다.

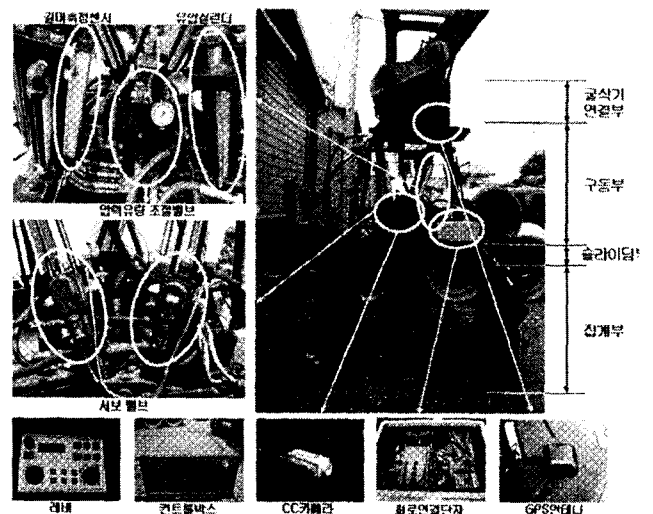


그림 3. 흡관매설 자동화 장비의 프로토타입

2.2 흡관매설 자동화 방식의 작업 프로세스 분석

1본의 흡관매설을 위한 재래식 작업 프로세스는 그림 4와 같이 ① 흡관 적재장소로 이동, ② 흡관 결속, ③ 흡관 연결장소로 운반, ④ 흡관 위치선정, ⑤ 흡관 연결(1차 정렬 포함), ⑥ 2차 정렬 및 기물기조정 과정이 1사이클(cycle)로 반복된다.

1) 1965년 Stewart가 모의 비행실험을 위해 고안한 장치로 공간상 6 자유도가 가능한 구조를 가지고 있는 병렬기구구조(parallel manipulator)의 대표적인 예임.

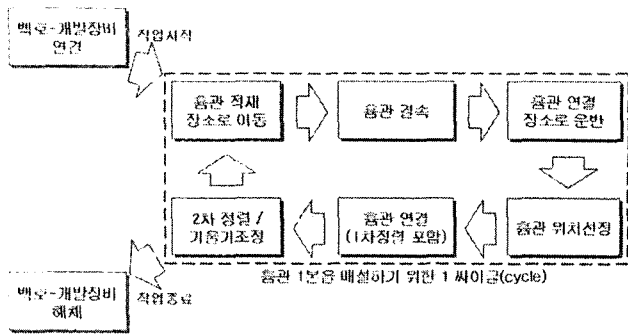


그림 4. 흙관매설 자동화 방식의 작업 프로세스

한편, 흙관매설 자동화 방식의 작업 프로세스는 그림 4와 같이 재래식 방식의 작업 프로세스 외에 작업시작 전에 백호(backhoe)의 버킷(bucket)을 해체하고 개발 장비를 연결하는 작업(mobilization) 및 작업종료 이후 백호와 개발 장비를 해체하고 버킷을 연결하는 작업(demobilization)이 추가로 요구된다. 이는 재래식 방식에서 백호의 버킷에 로프를 연결하여 흙관매설 작업을 수행하던 방법을 개발 장비로 대체함으로써 발생하는 추가 작업이다.

3. 흙관매설 자동화 장비 성능평가 모델 및 방법

3.1 생산성 측정모델

재래식과 자동화 방식의 흙관매설 작업 프로세스가 매우 유사하기 때문에 흙관 1분을 매설하는데 소요되는 시간의 측정을 통해 재래식 방식의 생산성과 자동화 방식의 생산성간의 비교·분석이 가능하다. 그러나 두 방식의 흙관매설 작업이 서로 다른 작업환경 및 여건에서 수행될 경우 생산성 비교·분석 결과에 대한 신뢰성 문제가 제기될 수 있으므로, 재래식 방식과 자동화 방식의 생산성 데이터는 가능한 유사한 작업환경 및 여건 하에서 측정 및 비교되어야 한다.

개발된 흙관매설 자동화 장비의 생산성을 측정하기 위해서는 흙관 1분을 매설하는데 소요되는 작업시간 측정이 선행되어야 하므로 그림 5와 같이 흙관매설 자동화 장비의 생산성 측정을

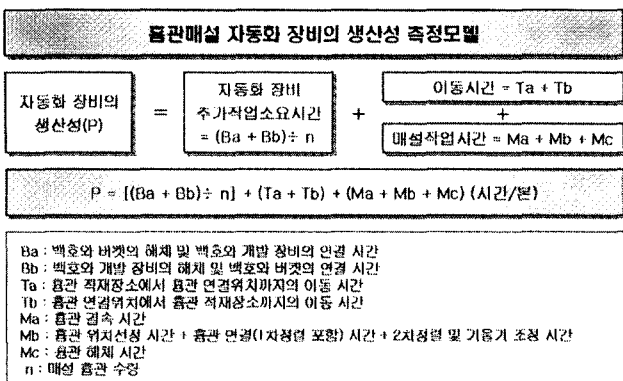


그림 5. 흙관매설 자동화 장비의 생산성 측정모델

위한 모델을 개발하였다. 제안된 생산성 측정모델은 흙관매설 작업을 수행하는 자동화 장비의 이동시간, 흙관매설 작업시간, 자동화 장비 추가작업 소요시간을 바탕으로 흙관 1분을 매설하는데 소요되는 작업시간 측정이 가능하도록 구축되었다.

한편, 생산성 데이터 수집 시 작업환경 및 여건의 차이에서 발생하는 영향요소를 최소화하기 위해서는 재래식 방식의 생산성과 비교하여 자동화 장비의 시간단축(time saving) 및 시간지연(time loss) 요소를 고려해야 한다(그림 6).

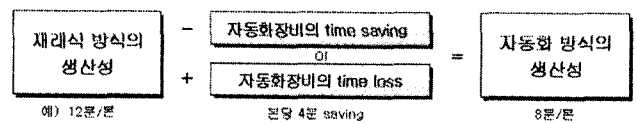


그림 6. 자동화 방식의 생산성 데이터 측정 개념

즉, 흙관매설을 위한 재래식 방식과 자동화 방식 모두 동일하게 소요되는 작업 시간은 배제하고 상이하게 소요되는 작업 시간들을 그림 7과 같이 비교함으로써 작업환경 및 여건의 차이에 의해 발생하는 영향 요소를 최소화하였다.

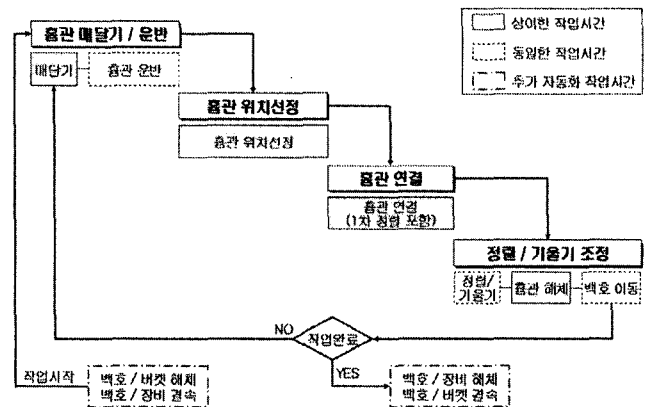


그림 7. 재래식 흙관매설 방식과 자동화 방식의 작업시간 유형

두 방식의 작업시간 중 흙관 매달기, 위치선정, 연결(1차 정렬 포함), 해체 작업에 소요되는 작업시간은 재래식 방식과 자동화 방식간의 작업방법 차이로 인해 상이하므로 소요시간을 직접 측정해야 한다. 그러나 흙관 운반, 백호 이동에 소요되는 시간은 동일한 작업환경 및 여건 하에서 작업이 수행된다면 이동거리가 동일하므로 소요 작업시간이 동일하다. 또한, 정렬/기울기 작업의 경우 재래식과 자동화 방식 모두 육안이나 측량기 등을 통해 흙관을 정렬(2차 정렬)하고 기울기를 조정하는 작업이므로 동일한 시간이 소요된다. 따라서 흙관운반 및 백호 이동, 정렬/기울기에 대한 자동화 방식의 소요 작업시간은 직접 측정하지 않고 재래식 방식의 생산성 데이터와 동일한 값을 사용할 수 있다. 한편, 자동화 방식에는 백호/버킷 해체 및 백호/개발 장비 결속 시간과 백호/개발 장비 해체 및 백호/버킷 결속 시간이 추가로 소

요되므로 이들 작업에 소요되는 시간을 측정해야 한다. 두 작업은 순서만 다를 뿐 동일한 작업의 반복이므로 두 작업 중 하나의 소요 작업시간을 측정하면 나머지 작업시간은 동일한 것으로 추정할 수 있다.

3.2 경제적 타당성 평가 방법

자동화 장비의 경제적 타당성 분석은 개발 장비를 사용함으로써 얻을 수 있는 투자의 효용성을 분석하고 자동화 장비 개발의 타당성을 확보하기 위한 것이다. 일반적으로 자동화 장비의 경제적 타당성 분석은 기존 재래식 방식과 비교하여 자동화 장비를 활용함으로써 추가적으로 소요되는 비용(costs)과 발생하는 편익(benefits)간의 비교·분석을 통해 수행된다. 그림 8과 같이 흙관매설 작업에 소요되는 비용 중 장비비(백호 임대비)와 자재비(흙관 및 기타 자재비)는 재래식 방식과 자동화 방식 모두 동일한 것으로 조사되었다. 그러나 흙관매설 자동화 방식에서는 노무비 절감 및 생산성 향상 편익이 발생하고 자동화 장비 개발로 인한 비용이 추가로 예상된다.

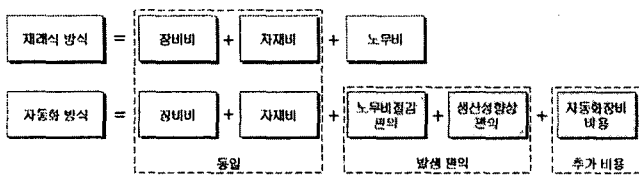


그림 8. 재래식 방식과 자동화 방식의 비용 유형

일반적으로 흙관매설 작업에 소요되는 비용은 장비, 자재, 노무비용 이외에도 운영비용(유류비 등) 및 기타 비용(잡비 등)이 발생할 수 있다. 그러나 현장실험을 통해 재래식 방식과 자동화 방식의 운영비용 차이가 거의 발생하지 않는 것으로 조사되었고, 기타 비용의 경우 전체 비용에서 크게 영향을 주지 않는 미미한 비율을 차지하므로 본 연구에서는 운영비용과 기타 비용을 고려하지 않았다. 또한 흙관매설 자동화 방식의 경우 노무비 절감, 생산성 향상 등의 정량적 편익(quantitative benefits) 이외에 안전성 확보, 품질 향상 등의 정성적 편익(qualitative benefits)도 발생하나 이를 정량화하여 경제적 가치로 환산하는데에는 많은 어려움이 있으므로 정성적인 비가시적 편익은 경제적 타당성 분석에서 고려하지 않았다. 따라서 본 연구에서 고려한 흙관매설 자동화 방식의 추가비용은 장비 제작비용과 운용 및 유지·보수비용으로 구성되어 있고, 발생편익은 노무비 절감 및 생산성 향상에 따른 정량적 편익으로 구성되어 있다.

본 연구에서는 흙관매설 자동화 장비의 경제적 타당성을 분석하기 위해 기본적인 변수 및 가정을 설정하였고, 이를 바탕으로 자동화방식 도입에 따른 연간 발생편익 및 추가비용을 산정하였다. 또한, 산정된 발생편익 및 추가비용을 토대로 편익비용 비율

분석, 수익률 분석, 손익분기점 분석 등의 경제성 분석 기법들을 활용하여 흙관매설 자동화 장비의 경제적 가치를 평가하였다. 한편, 설정된 변수나 가정 사항들은 각 업체나 현장마다 상이하므로 경제성 분석 결과 값이 다르게 산출될 수 있다. 따라서 특정 변수나 가정의 변화에 따른 경제성 분석 결과를 민감도 분석을 통해 재고함으로써 각 업체의 다양한 환경에 맞는 경제성 분석 결과를 제공하였다. 마지막으로 동일 작업물량을 기준으로 재래식 방식과 자동화 방식의 연간 총 공사투입비용을 비교함으로써 자동화 기술 도입에 따른 공사비용 절감효과를 분석하였다. 이러한 경제적 타당성 평가 방법을 도식화하면 다음 그림 9와 같다.

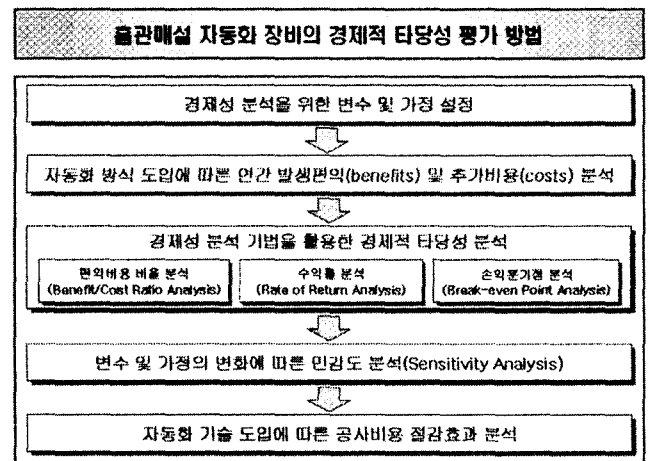


그림 9. 흙관매설 자동화 장비의 경제적 타당성 평가 방법

3.3 안전성 및 품질 분석 방법

자동화 장비의 성능 중 생산성과 경제적 타당성은 성능평가 모델 및 방법론 등을 통해 정량적으로 분석하고 평가하는 것이 가능하나, 안전성 및 품질은 비교·분석 대상 데이터의 부재 및 분석 기준의 모호함, 주관성 개입 가능 등의 문제점으로 인해 성능평가 모델 및 방법론을 구축하여 정량적으로 분석하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 재래식 흙관매설 방식과 비교하여 흙관매설 자동화 장비를 도입함으로써 얻을 수 있는 안전성 및 품질 향상 정도를 정성적인 측면에서 분석·평가하였다.

4. 흙관매설 자동화 장비의 성능평가

4.1 생산성 측정

생산성 데이터는 날씨 및 장소, 주변현황 등과 같은 측정환경이나 기타 작업여건에 따라 많은 영향을 받으므로 재래식 방식과 자동화 방식의 생산성을 정확하게 측정·비교하기 위해서는 동일한 작업 환경 및 여건 하에서 흙관매설 작업이 수행되도록 해야 한다. 그러나 기존의 재래식 생산성 측정 시와 동일한 환경

과 여건을 만드는 것은 현실적으로 어려움이 따르므로 최대한 유사하게 조성된 작업환경과 여건 하에서 개발 장비의 현장실험을 수행하여 자동화방식의 생산성을 측정하였다.

본 연구에서는 흙관매설 자동화 방식의 생산성을 측정하기 위해 다수의 실험실(내·외부) 실험 외에 3회의 현장실험²⁾이 수행되었다. 생산성 데이터를 수집하기 위해 수행된 현장실험들 모두 그림 10과 같이 작업에 지장을 주지 않는 맑은 날씨와 적절한 작업환경 및 주변여건 하에서 수행되었다.

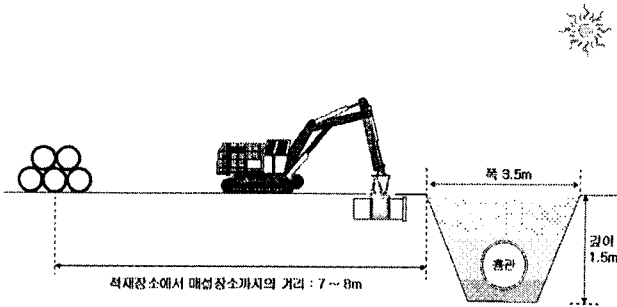


그림 10. 흙관매설 자동화 장비의 현장실험 환경

또한, 작업의 효율성을 위해 작업장소에는 백호 움직임을 고려하여 백호 구동범위 내에 잡석다짐을 하였다. 백호는 재래식 흙관매설 작업에 많이 쓰이는 H사 08호를 사용하였으며 20년 경력의 숙련된 운전자가 조정하였다. 작업 노무인력은 백호 운전원 1명, 개발 장비 조작용 1명, 보통인부(수신히 담당) 1명으로 구성되었으며 이들은 사전에 자동화 장비의 작업방식을 반복연습을 통해 숙달하였다. 그림 11은 이와 같이 조성된 작업환경 및 여건 하에서 수행된 현장실험 중 흙관매설 자동화 장비의 1사이클 작업과정을 보여주고 있다.

현장실험을 통해 측정된 생산성 데이터는 자동화장비를 이용함으로써 추가로 발생하는 사전 작업 및 마무리 작업을 위해 소요되는 작업시간과 실질적인 흙관매설 과정에서 발생하는 흙관 매달기(결속), 위치선정, 연결, 해체 작업을 위해 소요되는 작업시간으로 구성된다. 사전 작업 및 마무리 작업의 소요 작업시간은 현장실험을 통해 측정된 백호/버킷 해체 및 백호/개발장비 결속 시간(사전 작업 시간)들의 산술평균을 통해 27분 25초로 산출되었다. 이는 노무인력의 반복연습을 통한 작업 숙련도 향상 및 학습곡선(learning curve)을 고려해볼 때 향후 더욱 단축될 수 있을 것으로 예상된다.

실질적인 흙관매설 작업에 소요되는 시간은 작업숙련도가 최고조에 달한 세 번째 현장실험에서 마지막 20분을 매설하면서 측정된 작업시간을 토대로 산출되었다. 현장에서 실질적으로 흙

관매설 작업에 소요되는 매달기(결속), 위치선정, 연결, 해체 작업시간을 측정·분석한 결과, 1본의 흙관을 매설하는데 매달기(결속)작업 15초, 위치선정 작업 23초, 연결작업 33초, 해체작업 12초가 소요되는 것으로 분석되었다. 또한, 기록이나 측정상의 오차를 보완하기 위해 현장실험 중에 촬영했던 비디오 자료를 검토하여 생산성 데이터를 재확인하였다.

한편, 재래식 흙관매설 방식의 경우 백호 1대와 노무인력 6~8명이 투입되어 1일(8시간 기준) 평균 40본의 흙관을 매설하는 것으로 측정되었다(일당 생산성; 40본/일). 일당 생산성을 단위작업 생산성(시간/본) 즉, 1본의 흙관을 매설하는데 소요되는 작업시간으로 환산해보면 12분이 소요되는 것으로 분석되었다(손석호, 2001).

이와 같이 재래식 방식의 생산성과 현장실험을 통해 수집된 흙관매설 자동화 방식의 생산성 데이터를 비교·분석하면 표 1과 같다.

표 1. 재래식 방식과 자동화 방식의 생산성 비교·분석

공정	세부작업	작업 소요 시간		자동화 방식의	
		재래식	자동화	saving	loss
매달기 및 운반	흙관 매달기	35초	5초	20초	-
	운반	2분43초	2분43초	0초	-
위치 선정	흙관 위치선정	3분18초	23초	2분55초	-
연결	흙관 연결 (1차 정렬 포함)	2분51초	33초	2분11초	-
정렬 및 기술기조정	정렬/기술기조정 (백호 이동 포함)	2분21초	2분 21초	0초	-
	흙관 해체	12초	11초	1초	-
소계(시간/본)		12분00초	6분26초	5분34초	-
추가작업	백호-개발장비 연결	-	27분25초	-	27분25초
	백호-개발장비 해체	-	27분25초	-	27분25초
소계(시간/일)		-	54분50초	-	54분50초
1분당 작업시간으로 환산(시간/본) ³⁾		-	50초	-	50초
본당 생산성(시간/본)		12분00초	7분16초	4분44초	-

흙관매설 자동화 방식의 작업시간 중 운반, 정렬 및 기술기조정(백호 이동 포함) 시간은 재래식 방식과 자동화 방식 모두 동일하게 소요된다. 여기에 흙관 매달기(결속), 위치선정, 연결, 해체 작업의 소요시간과 사전 작업 및 마무리 작업의 단위작업(1본)당 소요시간으로 환산한 값을 더한 결과, 표 1과 같이 흙관 1본의 매설을 위해 자동화 방식은 7분 16초의 작업시간이 소요되

2) 현장실험은 생산성 데이터 수집과 더불어 개발 장비의 기술적 타당성 검증 및 현장 적용성 검토, 경제성 분석을 위한 데이터 수집 등 여러 목적을 가지고 수행되었음.

3) 추가 작업(사전작업 및 마무리작업)의 소요시간을 1분당 작업시간으로 환산하여 산출한 방법은 다음과 같음.

- 자동화 방식의 추가 소요시간: 사전작업 + 마무리작업 = 54분 50초
 - 1일 흙관 매설작업 가능 시간: 8시간 - 54분 50초 = 7시간 5분 10초
 - 1일 흙관 매설작업 가능 수량: 7시간 5분 10초 ÷ 6분 26초 = 66본
 - 사전/마무리 작업시간의 환산: 54분 50초 ÷ 66본 = 50초/본

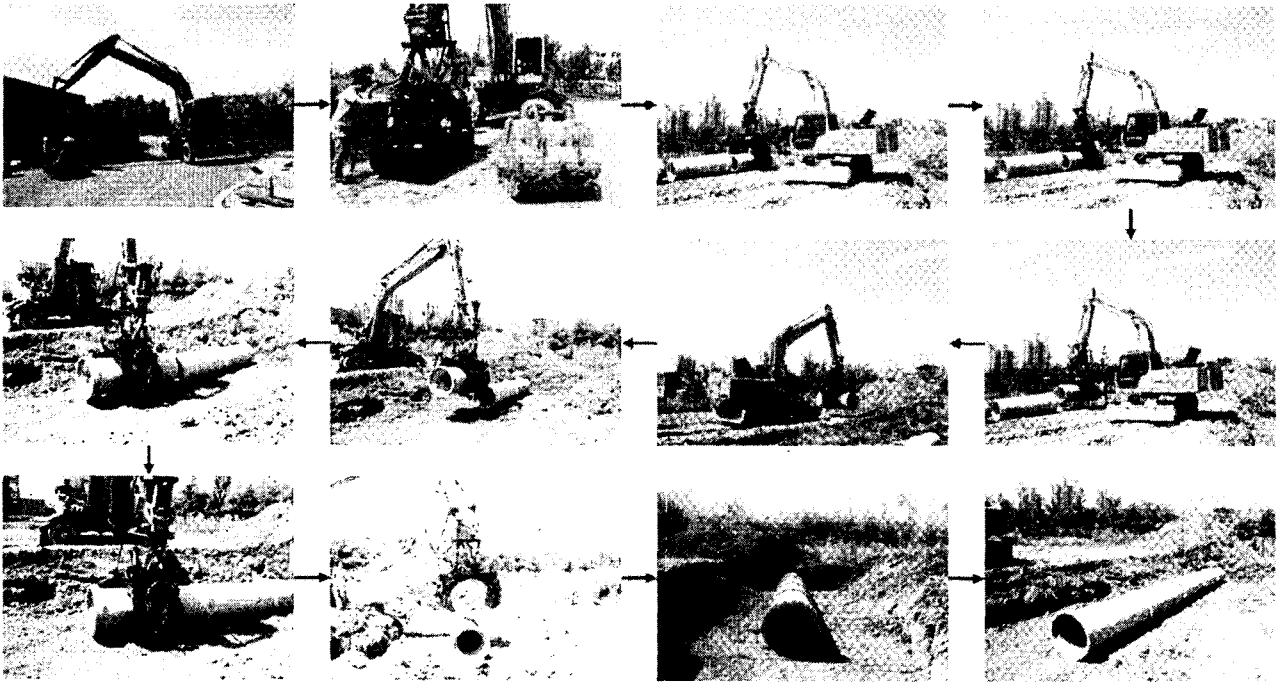


그림 11. 흙관매설 자동화 장비의 현장실험 모습

는 것으로 분석되었다. 이는 재래식 방식보다 흙관 1본당 4분 44초의 작업 시간을 단축(saving)할 수 있으며, 이를 일당 생산성으로 환산하면 66본/일이 되므로 재래식 방식보다 1일 26분을 더 매설할 수 있는 것으로 분석된다.

따라서 분석된 생산성 데이터를 바탕으로 흙관매설 자동화 방식의 생산성 달성 비율(PAR; Productivity Achievement Ratio)을 산출하면 식 (1)과 같다.

■ 생산성 달성 비율(PAR)식 (1)

$$= \text{자동화 방식의 생산성} \div \text{재래식 방식의 생산성}$$

$$= 66 \div 40 = 165(\%)$$

식 (1)과 같이 흙관매설 재래식 방식의 생산성 대비 자동화 방식의 생산성이 165%인 것으로 분석되었다. 이는 재래식 흙관매설 방식을 자동화 방식으로 대체할 경우 재래식 방식보다 65%의 생산성 향상 효과(1본당 4분44초의 작업시간 단축, 1일 26분의 추가작업 가능)를 얻을 수 있음을 의미한다. 또한, 흙관매설 자동화 장비의 기술적 개선이나 투입 노무인력의 숙련도가 향상될 경우 자동화 방식의 도입으로 인한 생산성 향상 효과는 더욱 증대될 것으로 예상된다.

4.2 경제적 타당성 평가

연구 단계에서의 경제적 타당성 평가는 자동화 장비의 실용화 이후 축적된 데이터들을 토대로 이루어지는 것이 아니므로 경제성 분석을 위한 변수 및 가정의 설정이 반드시 요구된다. 흙관매설 자동화 장비의 경제적 타당성 평가를 위해 설정된 변수 및 가정은 다음과 같다.

- 흙관매설 업체가 자동화 장비 1대를 활용하여 작업 수행
- 흙관매설 자동화 장비 1대 제작비용 : 60,000,000원⁴⁾
- 흙관매설 자동화 장비 예상수명 : 10년
- 흙관매설 자동화 장비 운용 및 유지·보수비용 : 1~5년간 제작비용의 5%, 6~10년간 제작비용의 10%
- 연간 흙관매설 작업가능일수 : 100일⁵⁾
(재래식 연간 흙관매설 작업물량 : 100일 × 40분/일 = 4,000분)
- 흙관매설 자동화 장비 도입 시 1일 노무절감인원 : 보통인부 3명
- 1일 노무비 절감액 : 157,449원⁶⁾ (= 52,483원 × 3명)
- 최소기대수익률(MARR) : 10%⁷⁾

위 가정 및 변수를 토대로 흙관매설 업체가 재래식 방식으로 연간 작업할 수 있는 작업가능물량은 4,000본이며 흙관매설 자

4) 흙관매설 자동화 장비 1대를 제작하는 경우를 기준으로 각 주요 부위별로 소요되는 가격을 파악하여 제작비용을 산출하였음. 이는 제작 초기투자 비용(initial investment cost)이므로 향후 개발 장비를 대량 생산할 경우 더욱 낮아질 것으로 예상됨.
 5) 국내 40개 흙관매설 업체와의 인터뷰 결과, 연간 작업가능일수는 100~250일로 조사됨(손석호, 2001). 본 연구에서는 최소 작업가능일수인 100일을 연간 흙관매설 작업가능일수로 가정하였음.
 6) 대한건설협회의 '2003년 하반기적용 건설업 임금실태 조사 보고서' 중 보통인부에 대한 시중노임단가(52,483원)를 적용하였음.
 7) 40개 흙관매설 업체 인터뷰 결과, 흙관매설 자동화 장비를 도입을 통해 충족되어야 하는 업체의 최소기대수익률이 10~20%인 것으로 조사되었으나 본 연구에서는 최소기대수익률을 10%로 가정하였음. 추후 민감도 분석을 통해 10~20%의 최소기대수익률 변화에 따른 경제성 분석 결과값 변화를 검토함으로써 이러한 가정을 보완하였음(그림 15~17 참조).

동화 장비를 이용하여 동일 작업물량을 수행할 경우 61일 (=4,000분÷66분/일)만에 작업을 완료할 수 있다. 이를 바탕으로 재래식 방식과 자동화 방식간의 연간 작업투입비용을 산출하여 자동화 방식 도입에 따른 연간 발생편익을 분석해 보면 표 2와 같다.

표 2. 자동화 방식 도입에 따른 연간 발생편익

재래식 방식(연간 100일 작업)			자동화 방식(연간 61일 작업)		
구분	일일작업 투입비용	연간작업 투입비용	구분	일일작업 투입비용	연간작업 투입비용
장비비	400,000	40,000,000	장비비	400,000	24,400,000
자재비	동일		자재비	동일	
노무비	351,603	35,160,300	노무비	194,154	11,843,394
계(원)	751,603	75,160,300	계(원)	594,154	36,243,394

자동화 방식 도입에 따른 연간 발생편익(원)
 = 연간 장비비 절감 편익 + 연간 노무비 절감 편익
 = 15,600,000 + 23,316,906 = 38,916,906원

한편, 자동화 방식 도입으로 인한 추가비용을 고려하지 않고 발생편익만으로 경제적 타당성을 분석하는 것은 불가능하며 휴관매설 자동화 방식 도입에 따른 연간 발생편익과 자동화 장비의 연간 추가비용을 고려하여 현금 흐름도(cash flow diagram)로 도식화하면 그림 12와 같다.

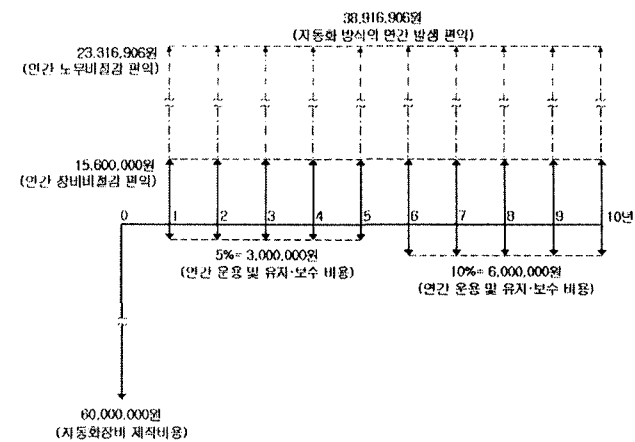


그림 12. 휴관매설 자동화 장비의 현금 흐름도

본 연구에서는 현금 흐름도를 바탕으로 경제적 타당성 평가 방법에서 제시되었던 경제성 분석 기법들을 적용하여 휴관매설 자동화 장비의 경제적 타당성 평가를 수행하였다.

(1) 편익/비용 비율 분석(benefit/cost ratio analysis)

편익/비용 비율(benefit/cost ratio) 분석이란 투자안에 따라 발생하는 편익의 현재가치(PW ; Present Worth)와 소요되는 비용의 현재가치와의 비율 즉, 편익/비용 비율을 구하여 경제적 채산성을 판단하는 일반적인 경제성 분석 기법이다. 편익/비용 비율 분석 결과 발생편익이 소요비용보다 클 경우 즉, 편익/비용 비율이 1보다 클 경우에는 그 투자안은 충분히 경제적 타당성이

있다고 판단할 수 있다.

따라서 휴관매설 자동화 방식의 현금 흐름도를 바탕으로 편익/비용 비율을 구해보면 다음 식 (2)~식 (4)와 같다.

■ 발생편익의 현재가치(PW of benefits) 식 (2)
 = 38,916,906(P/A, 10%, 10)⁸⁾
 = 38,916,906 × 6.1446
 = 239,128,821원

■ 추가비용의 현재가치(PW of cost) 식 (3)
 = 60,000,000 + 3,000,000(P/A, 10%, 5) +
 (6,000,000(P/A, 10%, 10) - 6,000,000(P/A, 10%, 5))
 = 60,000,000 + 6,000,000(P/A, 10%, 10) -
 3,000,000(P/A, 10%, 5)
 = 60,000,000 + (6,000,000 × 6.1446) - (3,000,000 ×
 3.7908) = 85,495,200원

■ 편익/비용 비율(Benefit/Cost Ratio) 식 (4)
 = PW of benefit ÷ PW of cost = 239,128,821 ÷
 85,495,200 = 2.80 > 1

식 (4)와 같이 편익/비용 비율이 1보다 큰 2.80이 산출된다. 따라서 발생편익이 추가비용보다 더 크므로, 재래식 방식과 비교하여 휴관매설 자동화 장비를 도입함으로써 이익을 얻을 수 있는 것으로 분석된다.

(2) 수익률 분석(rate of return analysis)

수익률(투자회수율) 분석은 사업이나 투자안에 대한 편익과 비용의 현재가치의 차이 즉, 순 현재가치를 0으로 만드는 할인율인 수익률을 구하는 경제성 분석 기법이다. 수익률 분석 기법은 수익률이 해당 사업에 대한 업체의 최소기대수익률 보다 높으면 사업의 수익성이 있어 투자할 가치가 있다고 보는 것으로 내부 의사결정의 기준 및 수단으로써 경제적 타당성을 입증하는 일반적인 방법으로 널리 사용된다.

자동화 방식의 경제성 확보가 가능하더라도 자동화 장비에 투자함으로써 얻어지는 수익률이 최소기대수익률보다 작게 되면 업체는 재래식 방식을 자동화 방식으로 대체하는데 큰 매력을 갖지 못하게 된다. 따라서 수익률이 최소기대수익률에 미치지 못하는 업체의 경우에는 투자안을 기각하는 것이 합리적이고 최

8) $P = A(P/A, i, n)$
 $(P/A, i, n) = \{[(1+i)^n - 1] \div [i(1+i)^n]\}$: 현재계수
 P : 현재 가치(PW) A : 연간 등가액(Annual Cost)
 i : 최소기대수익률(MARR) n : 연(年)수

소기대수익률보다 높은 수익률을 창출할 수 있는 업체의 경우에는 투자안을 채택하는 것이 바람직하다.

앞에서 산출된 경제성 데이터들을 토대로 흠관매설 자동화 장비의 수익률을 계산해보면 식 (5)와 같다.

■ 수익률(i) 식 (5)

$$NPW = PW \text{ of benefits} - PW \text{ of cost}$$

$$0 = 38,916,906(P/A, i, 10) - \{60,000,000 + 6,000,000(P/A, i, 10) - 3,000,000(P/A, i, 5)\}$$

$$= 32,916,906(P/A, i, 10) + 3,000,000(P/A, i, 5) - 60,000,000$$

$$\therefore i = 58.8\%(\text{ROR}) > 10\%(\text{MARR})$$

식 (5)에서와 같이 흠관매설 자동화 장비의 도입으로 인한 수익률이 약 58.8%로써 경제성 분석 시 가정하였던 최소기대수익률 10%를 크게 상회한다. 따라서 흠관매설 자동화 방식을 도입한 업체의 경우 자동화 장비를 통해 충분히 경제성을 확보할 수 있으며 기대했던 수익률(MARR)보다 높은 수익률(ROR)을 획득하였으므로 적절한 의사결정을 내린 것으로 판단할 수 있다(그림 13).

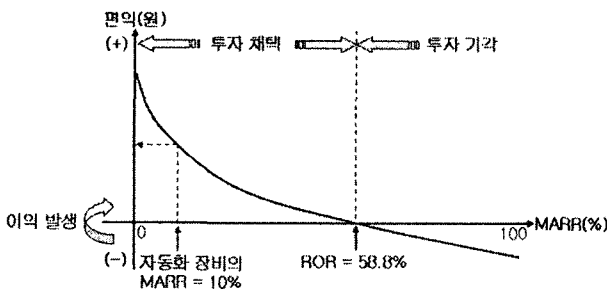


그림 13. 흠관매설 자동화 방식의 수익률 분석

(3) 손익분기점 분석(break-even point analysis)

투자안의 초기 투자비용, 투자안에 대한 기대정도, 업체의 자금흐름 상태 및 자금회수 위험률 등에 따라 손익분기점(break-even point)의 기대 값이 달라질 수 있다. 따라서 연구단계에서 흠관매설 업체가 기대하는 자동화 방식의 손익분기점을 정확히 산정하는 것은 매우 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 손익분기점을 제시하는 수준에서 경제성 분석을 수행하였고, 민감도 분석을 통해 다양한 변수 값들의 변화에 따른 손익분기점의 변화를 검토함으로써 이를 보완하였다. 발생편익과 추가비용의 현재가치가 같아지는 손익분기점으로부터 자동화 장비 활용에 따른 실질적 이익이 발생하게 되므로 추가비용 및 발생편익을 고려하여 흠관매설 자동화 방식의 손익분기점을 분석하였다.

식 (3)에서와 같이 10년 동안 소요되는 흠관매설 자동화 장비 추가비용의 현재가치(PW of cost)와 발생하는 편익의 현재가치

(PW of benefits)가 같아질 때 손익분기점에 도달하게 된다. 흠관매설 자동화 장비의 손익분기점을 계산해보면 식 (6)과 같다.

■ 손익분기점(n) 식 (6)

$$PW \text{ of cost} = PW \text{ of benefits}$$

$$85,495,200 = 38,916,906(P/A, 10\%, n)$$

$$(P/A, 10\%, n) = 85,495,200 \div 38,916,906 = 2.1969$$

$$\therefore n = 2.60 \rightarrow 2\text{년 } 7\text{개월}(31\text{개월})$$

식 (6)을 통해 흠관매설 자동화 방식의 손익분기점은 2년 7개월로 산출되었다. 이는 재래식 방식과 비교하여 흠관매설 자동화 장비를 도입함으로써 지출되었던 추가비용이 2년 7개월이 경과하면 모두 회수될 수 있으며 손익분기점 이후부터는 순이익이 발생된다는 것을 의미한다(그림 14).

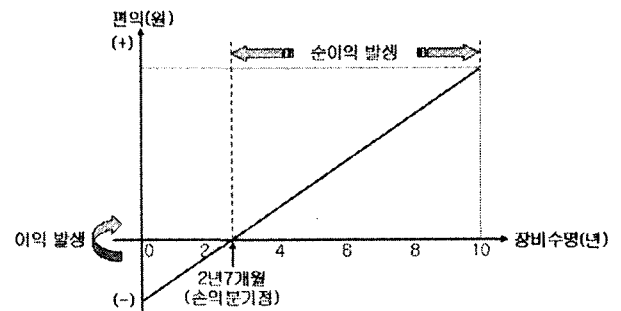


그림 14. 흠관매설 자동화 방식의 손익분기점 분석

본 연구에서는 흠관매설 전문업체의 연간 최소 작업가능일수를 100일로 가정(각주 5 참조)하여 연간 작업물량을 4,000본으로 한정하였으나 업체가 흠관매설 자동화 방식을 도입할 경우 자동화 장비를 이용하여 동일물량을 61일 만에 작업할 수 있다. 따라서 만약 업체가 작업물량을 추가로 확보할 수 있다면 연간 작업가능일수(그림 14. 흠관매설 자동화 방식의 손익분기점 분석) 100일 동안 6,600본(=66본×100일)의 작업을 수행할 수 있으므로 흠관매설 자동화 장비를 이용함으로써 얻을 수 있는 경제적 효과는 더욱 증대될 것으로 기대된다. 또한, 100일 이상의 연간 작업가능일수, 공사물량 증가, 안전성 확보, 품질 향상 및 공기 절감 등으로 기대될 수 있는 잠재적인 경제적 향상 효과(potential economic benefits)들을 고려하면 흠관매설 자동화 장비의 경제적 타당성은 더욱 클 것으로 판단된다.

(4) 민감도 분석(sensitivity analysis)

특정 변수나 가정들은 각 업체나 현장마다 경제적 환경 및 여건에 따라 차이가 발생할 수 있으므로 경제성 분석 결과가 다르게 도출될 수 있다. 따라서 특정 변수나 가정의 변화에 따른 경제성 분석 결과를 민감도 분석(sensitivity analysis)을 통해 재

고할 필요가 있다. 또한 민감도 분석 결과는 여러 업체의 상이한 조건 및 변수를 대상으로 분석된 것이므로 이는 향후 장비 개발 업체의 마케팅(marketing) 자료로서 뿐만 아니라 흙관매설 전문업체가 자사의 장비 구입 여부를 객관적으로 판단해 볼 수 있는 기초 자료로서 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 연간 작업가능일수 및 최소기대수익률, 자동화 장비 도입에 따른 노무절감인원을 흙관매설 자동화 장비의 민감도 분석을 위한 변수 및 가정으로 설정하였다. 이러한 변수 및 가정은 흙관매설 작업을 수행하는 업체나 현장마다 차이가 발생하기 쉽고 경제성 분석 결과에 중요한(critical) 영향을 미치는 요소이다.

표 3은 최소기대수익률이 10%일 때, 연간 작업가능일수(50~250일)와 노무절감인원(3~5인) 변화에 따른 편익/비용 비율, 수익률, 손익분기점 결과 값의 변화를 나타낸 것이다. 예로써, 연간 작업가능일수 200일, 노무절감인원 3인일 경우, 경제성 분석 결과 편익/비용 비율 5.59, 수익률 124.6%, 손익분기점 15개월이 산출된다. 이는 연간 작업가능일수가 100일일 때(편익/비용 비율 2.80, 수익률 58.8%, 손익분기점 31개월)보다, 편익/비용 비율은 높아지고 수익률은 증가하며 손익분기점은 단축된 것이다. 이와 같이 표 3의 민감도 분석을 통해, 연간 작업가능일수와 노무절감인원 변화에 따른 경제성 분석 결과 값을 용이하게 확인할 수 있다. 그림 15~그림 17은 최소기대수익률이 20%일 때, 표 3. 최소기대수익률이 10%일 때, 연간 작업가능일수와 노무절감인원 변화에 따른 민감도 분석 연간 작업가능일수와 노무절감인원이 변화함에 따라 경제성 분석 결과 값이 변화하는 모습을 각 분석 항목별 그래프(graph)로 보여준다.

표 3. 최소기대수익률이 10%일때, 연간 작업가능일수와 노무절감인원 변화에 따른 민감도 분석

연간 작업 가능 일수 (일)	3인 절감			4인 절감			5인 절감		
	편익/비용 비율	수익률 (%)	손익분기점 (개월)	편익/비용 비율	수익률 (%)	손익분기점 (개월)	편익/비용 비율	수익률 (%)	손익분기점 (개월)
50	1.38	22.1	75	1.57	27.5	68	1.75	32.8	65
60	1.66	30.1	59	1.89	36.2	50	2.11	42.0	44
70	1.95	37.7	48	2.21	44.4	42	2.47	50.9	36
80	2.23	44.9	41	2.53	52.4	36	2.83	58.7	31
90	2.51	51.9	36	2.85	60.2	31	3.19	68.3	27
100	2.80	58.8	31	3.17	67.9	28	3.55	76.8	24
110	3.09	65.7	29	3.50	75.5	25	3.91	85.3	22
120	3.38	72.4	26	3.82	83.1	23	4.27	93.7	20
130	3.65	79.1	24	4.14	90.7	21	4.63	102.1	18
140	3.93	85.8	22	4.46	98.2	19	4.99	110.5	17
150	4.22	92.5	20	4.78	105.7	18	5.35	118.9	16
160	4.50	99.1	19	5.10	113.2	17	5.71	127.2	15
170	4.74	104.9	18	5.38	119.7	16	6.02	134.6	14
180	5.03	111.4	17	5.70	127.2	15	6.38	143.0	13
190	5.31	118.0	16	6.03	134.7	14	6.74	151.3	13
200	5.59	124.6	15	6.35	142.1	13	7.10	159.7	12
210	5.88	131.2	14	6.67	149.6	13	7.46	168.0	11
220	6.16	137.8	14	6.99	157.1	12	7.82	176.3	11
230	6.45	144.4	13	7.31	164.5	12	8.18	184.7	10
240	6.73	151.0	13	7.64	172.0	11	8.54	193.0	10
250	7.01	157.6	12	7.96	179.5	11	8.90	201.4	10

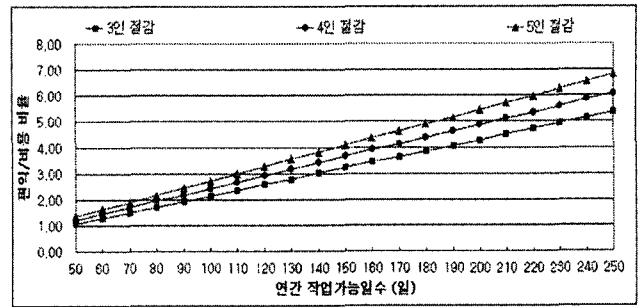


그림 15. 연간 작업가능일수와 노무절감인원 변화에 따른 편익/비용 비율의 민감도 분석

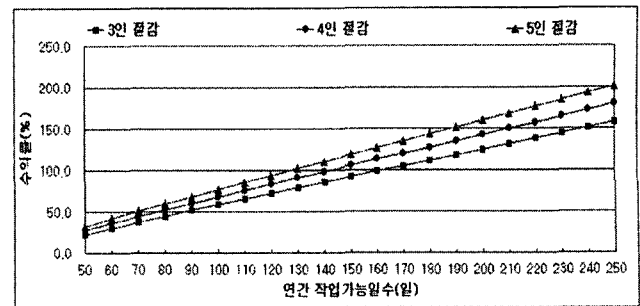


그림 16. 연간 작업가능일수와 노무절감인원 변화에 따른 수익률의 민감도 분석

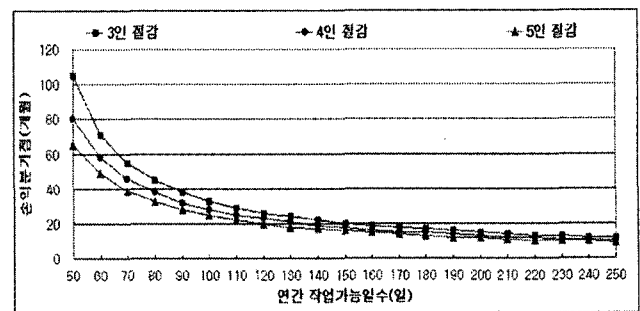


그림 17. 연간 작업가능일수와 노무절감인원의 변화에 따른 손익분기점의 민감도 분석

앞서 언급된 바와 같이, 본 연구를 통해 제시된 민감도 분석 결과는 향후 장비 개발업체가 실용화된 흙관매설 자동화 장비를 판매하게 될 경우 객관적인 마케팅(marketing) 자료로서 적극 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 흙관매설 전문업체는 제시된 민감도 분석 결과를 바탕으로 자사의 연간 작업물량 및 신기술 도입에 따른 최소기대수익률, 노무절감인원에 근거하여 발생하는 경제적 가치 창출의 결과를 분석함으로써 흙관매설 자동화 장비를 구매·활용할지 여부를 용이하게 판단할 수 있을 것으로 기대된다.

(5) 자동화 기술 도입에 따른 공사비용 절감효과 분석

흙관매설 작업을 위한 연간 최소 작업가능일수를 100일로 가정하였을 경우, 자동화 장비를 도입하여 내구연한(10년) 동안 운

용함으로써 얻어지는 순이익의 현재가치를 계산해보면 다음 식 (7)과 같다.

■순이익의 현재가치(NPW) 식 (7)

$$= PW \text{ of benefits} - PW \text{ of cost} = 239,128,821 - 85,495,200 = 153,633,621 \text{원}$$

식 (7)과 같이 현재가치로 153,633,621원의 순이익이 발생한다. 즉, 재래식 방식을 자동화 방식으로 대체하는 경우 흙관매설 자동화 장비를 이용하는 10년간 현재가치로 총 153,633,621원의 비용을 절감할 수 있을 것으로 분석된다. 또한 흙관매설 자동화 방식의 추가비용을 연간 등가가치(AW ; Annual Worth)로 환산하면 다음 식 (8)과 같다.

■추가비용의 연간 등가가치(AW of cost) 식 (8)

$$= 85,495,200(A/P, 10\%, 10) A = P(A/P, i, n)$$

$$(A/P, i, n) = [i(1+i)^n] \div [(1+i)^n - 1] : \text{등가계수}$$

$$= 85,495,200 \times 0.1627 = 13,910,069 \text{원}$$

위 식 (8)에서 추가비용의 연간 등가가치를 산출한 결과, 흙관매설 자동화 방식의 경우 10년 동안 매년 13,910,069원의 추가비용이 증가로 소요되는 것으로 분석된다. 따라서 이를 연간 소요되는 흙관매설 자동화 장비 비용으로 산정하고, 재래식 방식과 자동화 방식의 연간 총 공사투입비용을 현금 흐름도로 나타내면 그림 18과 같다.

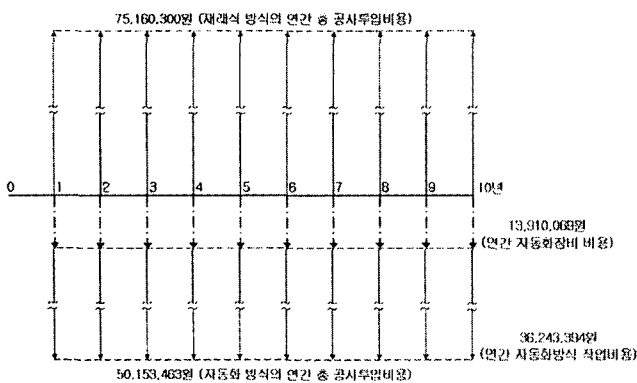


그림 18. 흙관매설 재래식 방식과 자동화 방식의 연간 총 공사투입비용 현금 흐름도

흙관매설 자동화 방식을 도입하는 경우 업체는 10년 동안 매년 25,006,837원(=75,160,300원-50,153,463원)의 순이익을 얻을 수 있으며 이는 재래식 방식과 비교해볼 때, 자동화 방식이 연간 33%(=25,006,837 ÷ 75,160,300) 정도의 공사비용 절감효과를 거둘 수 있음을 의미한다. 또한, 업체의 연간 작업가능일수가 증가함

에 따라 자동화 방식의 공사비용 절감 비율은 더욱 높아질 것이다.

4.3 안전성 및 품질 분석

(1) 안전성 분석

재래식 흙관매설 작업 프로세스 중 흙관 매달기/운반 작업의 경우 로프를 이용하여 흙관을 백호에 매달아 운반하기 때문에 흙관 무게중심의 이동이나 로프 결속불량으로 인한 흙관 추락사고의 위험성과 백호와 노무자의 근접 작업으로 인해 충돌사고의 위험성이 내재되어 있다. 또한, 흙관 위치선정, 흙관 연결, 정렬 및 기울기조정 작업을 위해 노무자가 지표면 아래 1.5~5m 깊이의 좁고 긴 트렌치 내에서 작업을 해야 하므로 트렌치 붕괴 위험 및 트렌치 내로의 낙하물 발생 가능성, 낙하물 회피 어려움 등의 문제점이 있다. 또한, 중량 자재인 흙관을 불안정한 장소에서 취급하기 때문에 안전사고가 빈번히 발생하고 있는 실정이다(그림 19-(a), (b)).



(c) 위험요소가 내재된 작업을 자동화 장비가 대체 수행함으로써 노무인력의 안전성 확보 가능

그림 19. 재래식 및 자동화 방식간의 안전성 비교·분석

반면, 본 연구를 통해 개발된 흙관매설 자동화 장비를 이용하여 흙관을 매설할 경우 노무자가 트렌치 내에 들어가지 않고 백호와 근접거리에서 작업을 수행하지 않으므로 흙관 매설작업상의 위험요소들이 근본적으로 배제된다. 즉, 흙관매설 자동화 장비를 도입함으로써 노무자의 안전사고 발생 가능성이 제거되므로 재래식 방식에 비해 안전성 확보 측면에서 자동화 방식이 우수할 것으로 사료된다(그림 19-(c)).

(2) 품질 분석

재래식 흙관매설 작업은 노무자의 숙련도에 따라 크게 영향을 받으므로 품질 차이가 발생할 가능성이 높다. 또한 백호에 의한 무리한 관이음이 금지되어 있음에도 불구하고 작업시간의 단축을 위해 백호를 사용하여 무리한 관이음이 수행됨으로써 연결부

위가 파손되어 품질상의 직접적인 문제가 발생할 수 있으며, 파손부위에서의 누수로 인해 토양 및 지하수 오염 등과 같은 간접적인 환경문제도 유발되고 있는 것으로 조사되었다(그림 20-(a), (b)). 그러나 흙관매설 자동화 장비를 이용하여 작업을 수행할 경우 노무인력을 대체하는 자동화 시공에 의해 균일한 품질을 확보할 수 있다. 또한, 흙관매설 자동화 장비를 활용함으로써 무리한 관이음에 의한 접합부위 파손 및 불균등한 힘이 가해짐으로써 발생할 수 있는 접합상태 불량 등의 품질 저해요소를 제거할 수 있으므로 재래식 방식에 비해 품질 향상 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다(그림 20-(c), (d)).



그림 20. 재래식 및 자동화 방식간의 품질 비교·분석

5. 결론

본 연구에서는 흙관매설 자동화 장비의 성능분석을 위해 성능평가 모델 및 방법론을 제시하였으며, 이를 바탕으로 재래식 흙관매설 방식과 자동화 방식을 비교·분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 생산성 측면에서 흙관매설 작업을 자동화할 경우 재래식 방식보다 65%의 생산성 향상 효과가 있는 것으로 분석되었다.

- 2) 경제적 타당성 측면에서 재래식 방식과 비교하여 자동화 방식 도입 시 편익/비용 비율은 2.80, 수익률은 58.8%, 손익분기점은 2년 7개월로 분석되었으며, 민감도 분석을 통해 변수 및 가정의 변화에 따른 경제성 분석 결과 값의 변화를 확인하였다. 또한, 흙관매설 자동화 방식을 도입함으로써 얻을 수 있는 공사비용 절감 비율을 산출해 본 결과, 연간 동일 작업물량을 기준으로 재래식 방식에 비해 33% 정도의 공사비용 절감 효과가 있는 것으로 분석되었다.
- 3) 안전성 및 품질 측면에서 자동화 방식은 안전사고 발생원인을 근원적으로 제거하고 균일한 품질을 확보할 수 있으며 하자 발생을 미연에 방지할 수 있는 것으로 분석되었다.
- 4) 따라서 흙관매설 자동화 방식은 재래식 방식보다 생산성, 경제성 타당성, 안전성 및 품질 측면에서 우수한 성능을 발휘할 수 있는 것으로 분석되었다.

본 연구를 통해 제시된 흙관매설 자동화 장비의 성능평가 모델 및 분석 결과는 향후 건설 자동화 장비의 성능평가를 위한 기본적 틀(framework)을 제공할 수 있을 뿐만 아니라, 흙관매설 실용화 장비의 개발을 위한 시장성(marketability) 분석 자료로도 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- 1. 한국건설기술연구원, “콘크리트하수관 매설용 원격조종장비개발”, 3차년도 연구보고서, 건설교통부, 2003
- 2. 원영호 외, “흙관매설 공사의 작업분석을 통한 자동화장비 개발 방안에 관한 연구”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 21권, 1호, 2001, p.p. 381~384
- 3. 손석호, “흙관매설 자동화 장비 개발을 위한 기술적·경제적 타당성 분석에 관한 연구”, 석사학위논문, 인하대학교 건축공학과, 2001. 8
- 4. 이준복, “건설자동화시공 장비개발 및 성과평가에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집, 17권, 7호, 2001, p.p. 93~100

Abstract

In developing an automated construction system, it is essential to propose a performance evaluation model and methodology, which can measure productivity, quality, safety and economic feasibility in order to verify its superiority. Recently, a tele-operated hume concrete pipe laying machine has been developed to solve several problems related to safety, quality, productivity in conventional method. The primary objective of this study is to propose a model and methodology for the performance evaluation of the developed tele-operated hume concrete pipe laying machine. Furthermore, this study evaluates the automation machine's performance compared with the existing hume pipe laying work by using data which obtained in many field trials. It is anticipated that the proposed model and methodology might be effectively used in analyzing the performance of other automation robots.

Keywords : hume concrete pipe, performance evaluation, productivity, economic feasibility, construction automation, robot