

워터젯을 이용한 노면표시 제거장비의 성능평가에 관한 연구

Performance Evaluation of Road Stripe Removing Equipment Using High Pressure Water-Jet

한 재 구* · 김 균 태** · 권 순 옥***

Han, Jae-Goo* · Kim, Kyoon-Tai** · Kwon · Soon-Wook***

요 약

종래의 깎기식 제거기에 의한 노면표시 제거작업은 인력에 의존하는 단순반복 작업으로 진행된다. 경제사회적인 측면에서 이러한 수작업은 매우 불리한데, 장시간 교통통제로 인하여 교통체증을 야기시키기 때문이다. 이러한 교통체증은 도로 이용자의 불편과 혼잡비용이 증가시킬 뿐만 아니라 교통사고의 가능성도 가중시키게 된다. 본 연구의 목적은 워터젯 기술을 이용한 노면표시 제거 장비를 개발하고, 개발장비의 성능을 평가하는 것이다. 그 결과는 다음과 같다. 첫째, 워터젯을 이용한 노면표시 제거장비를 개발하여 현장실험한 결과, 기존방식과 비교하여 280.0%의 생산성 달성 비율을 얻을 수 있었다. 또한 편익/비용 비율을 분석한 결과, 편익/비용 비율이 1보다 큰 3.28이 산출되었다. 따라서 노면표시제거 자동화 장비를 도입하는 경우 추가 소요되는 비용보다 발생하는 편익이 더 크음을 알 수 있다. 둘째, 개발장비로 기존 방식의 120일 작업물량을 작업할 경우, 장비 한대마다 연간 약 25.5억원의 교통혼잡비용을 절감할 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 노면표시제거 업체들이 본 연구의 개발장비를 도입함으로써 얻을 수 있는 사회적 편익은 막대할 것으로 기대된다.

키워드 : 초고압수, 노면표시, 건설자동화, 안전, 성능평가

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

현재 국내 도로망은 고속국도 및 일반 국도가 주축이 되어 전국의 주요 도시를 연결하고 있으며, 특별시·광역시와 도내의 특별·광역시도, 지방도, 군도 및 시도가 연계되어 있다. 도로의 총 연장은 2004년말 현재 총 100,278 km이고, 이중 76,347 km가 포장되어 포장율은 76% 이상이다¹⁾. 이러한 도로가 본래의 기능을 다하기 위해서는 지속적으로 유지관리(maintenance)되어야 하며, 이러한 도로의 유지관리 작업은 안

전하고, 쾌적하고, 편리하면서 효율적으로 이루어져야 한다.

이러한 측면은 도로의 유지관리 작업 중 하나인 도로 노면표시 제거작업(road stripe removing work)에서도 동일하나, 현재의 노면표시 제거작업은 그렇지 못한 실정이다. 왜냐하면 노면표시 제거작업은 깎기식 제거기에 의한 방법이 주를 이루는데, 이러한 종래의 깎기식 방법은 수작업에 크게 의존하고 있기 때문이다. 따라서 노면표시를 제거하기 위해서는 많은 작업자가 투입되어 비효율적으로 진행되고 있는 실정이다. 경제사회적인 측면에서도 이러한 수작업은 매우 불리한데, 장시간 교통통제로 인하여 교통체증을 야기시키기 때문이다. 이러한 교통체증은 도로 이용자의 불편과 혼잡비용이 증가시킬 뿐만 아니라 교통사고의 가능성도 가중시키게 된다.

재래식 방법은 작업자의 안전측면에서도 매우 불리한 실정이다. 왜냐하면 차량이 주행 중인 도로상에서 작업하여야 하므로, 작업자는 작업시간 내내 통행차량으로 인한 교통사고의 위험에 노출되게 된다. 또한 기존의 노면표시제거 방법은 마무리 때에 프로판 가스의 화염을 이용하므로, 이 과정에서 프로판 가스의 취급 부주의로 인한 폭발위험이 큰 실정이다. 또 제거 중에 발생하는 유해한 먼지, 소음 및 가스 등 현재의 작업환경에는 작업자

*일반회원, 한국건설기술연구원 연구원, jghan@kict.re.kr

**중신회, 원 한국건설기술연구원 선임연구원, 공학박사(교신저자), ktkim@kict.re.kr

***일반회원, 성균관대학교 건축공학과 교수, 공학박사, swkwon@skku.edu

이 논문은 건설교통부 2003년 산학연 공동연구 개발사업(과제번호: R&D/02산학연 H01-02) 결과의 일부임.

1) http://news.naver.com/news/read.php?mode=LSD&office_id=016&article_id=0000184135§ion_id=103&menu_id=103

건강과 환경에 위해요인이 상존하고 있다.

한편 1960년대 물을 초고압으로 압축하여 분사하는 워터젯(초고압수 : water-jet) 장치가 개발되었다. 그리고 이를 이용하여 소재를 절단하는 워터젯 절단(water-jet cutting) 시스템과 소재의 표면을 세척하는 워터젯 세척(water-jet cleaning) 시스템이 발전하게 되었다. 이후 공정이 자동화되고 작업의 편이성과 가공의 정밀성이 높아짐에 따라 워터젯 응용 기술의 활용 범위가 넓어지게 되어, 전자부품 생산, 자동차 소재 가공공정 등 제조업만이 아니라, 건설분야에 까지도 다양하게 활용되고 있다. 이러한 워터젯, 기술의 가장 큰 장점은 대기 중 분진의 비산이 적고 작업환경이 양호하며, 용도에 따라 자동화하기 용이하다는 것이다.

이러한 워터젯의 장점을 노면표시 제거작업에 활용하면, 재래식 방법의 가장 큰 문제점인 인력의존성, 비효율성과 위험성을 크게 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 다시 말하면 워터젯 기술을 응용한 자동화 장비로 도로면에 용착되어 있는 도로를 벗겨냄으로써, 작업의 인력의존도를 낮추고 생산성을 향상시키며 위험성을 감소시킬 수 있을 것이다.

따라서 본 연구의 목적은 워터젯 기술을 이용한 노면표시 제거 장비를 개발하고, 개발장비의 성능을 평가하는 것이다. 장비의 성능이란 생산성, 안전성, 품질, 교통혼잡비용(traffic congestion cost) 등 다양한 관점들이 있을 수 있으므로, 이러한 관점들에서 개발장비의 성능을 분석하고 평가하는 것이다. 이를 통하여 생산성, 품질과 안전도가 향상되고, 물류비용을 감소시키는 새로운 공법을 제시하고자 한다.

1.2 연구방법 및 내용

본 연구는 다음과 같은 방법으로 수행되었다.

첫째, 문헌조사 및 현장조사 등을 통하여 노면표시 제거작업의 현황, 작업순서, 생산성, 위험성 등을 고찰한다.

둘째, 시스템을 개발하고, 개발 장비의 프로토타입모델을 제작하며, 개발된 모델을 현장실험 한다.

셋째, 현장실험 결과를 바탕으로 하여, 생산성, 안전성, 품질, 투입인력, 투입비용 등 다양한 측면에서 개발장비의 성능을 평가한다.

넷째, 기존(conventional) 노면표시제거 방식과 개발장비에 의한 방식간의 교통혼잡비용을 비교하고, 생산성 향상에 따른 사회적 편익을 분석한다.

2. 노면표시 제거작업 고찰

장비를 개발하기 위해서는 다양한 고려요소 및 주요 요소기술을 도출하여야 한다. 이러한 고려요소 및 요소기술들을 도출하기 위해서는 우선 기존 작업의 관찰과 분석이 필요하다. 또한 향후 장비가 개발된 이후 생산성 및 품질 등의 성능을 기존 공법과 비교하기 위해서도 기존 현장작업의 관찰과 분석 작업은 중요하다. 따라서 본 장에서는 현행 노면표시 제거작업 현장을 방문하여 제거 작업에 대한 관찰과 작업분석을 실시한다. 이러한 현장작업 분석을 통하여 재래식 작업의 실태를 파악하고 이를 바탕으로 생산성 및 위험성을 파악한다.

2.1 기존의 노면표시 제거작업 순서

본 절에서는 우선 작업인원, 작업순서 등과 같은 재래식 작업의 현황을 파악한다. 이를 위하여, 도로공사표준시방서 등 문헌을 고찰한 후, 노면표시 제거작업 현장을 직접 방문하여 제거 작업 공정을 관찰하였다. 노면표시 제거작업 현장방문 조사 결과를 바탕으로 도출한 작업공정 분석은 다음과 같다.

기존 노면표시 제거작업을 분류하면 작업준비, 노면표시제거, 현장정리의 3개 공정으로 분류할 수 있다. 이중 노면표시제거 공정을 세분화하면 안전시설물 배치, 깎기식 제거기를 이용한 노면표시제거(그림 1 (a) 참조), 노면청소, 프로판가스 화염으로 가열(그림 1 (b) 참조), 바닥마무리, 이등의 6개 세부작업으로 분류할 수 있다. 재래식 방식에서는 이 6개의 세부작업이 반복적이고 병렬적으로 수행되고 있었다. 다시 말하면 각각의 세부 작업들은, 서로 다른 위치에서 선행작업을 쫓아가면서, 동시에 이루어지게 된다는 것이다. 그리고 이를 위해서 투입되는 인원은, 현장여건에 따라 다르나, 일반적으로 5~6명의 작업자에 의해 이루어지며²⁾, 최대 8명의 작업자가 투입되는 경우까지도 있었다.



그림 1. 현행 노면표시 제거의 주요작업4)

현장작업 관찰과 작업자와의 인터뷰 등을 통하여 조사한 결과는 다음과 같다.

2) 깎기식 제거기 운전원 1인, 청소 및 안전시설 설치원 2~3인, 프로판가스 화염 작업원 1인, 바닥 마무리 작업원 1인

첫째, 깎기식 제거기는 과열을 방지하기 위하여 하루 평균 40~80분 정도의 휴식시간이 필요하다. 또 하루 평균 1회 정도의 잦은 베어링 고장이 발생하고 있으며, 베어링 교체를 위하여 30~40분 가량의 작업지연이 발생하였다. 또한 고장이 심하여 당일의 작업이 중단되는 사례도 발견되었다. 특히 날씨가 더워지는 하절기에는 아스팔트가 녹아 잘 깎이지 않고 뭉치므로 노면표시가 잘 제거되지 않을 뿐만 아니라, 깎기식 제거기에 과부하를 유발하여 잦은 고장의 원인이 되고 있었다.

둘째, 노면표시 제거작업 구간의 바로 옆에서 차량이 운행한다는 점과 작업시 프로판 가스의 화염을 사용한다는 점 등은 작업자의 안전을 크게 위협하는 요소로 작용하고 있었다. 따라서 작업원들은 교통사고와 프로판가스 화재의 위험을 크게 느끼고 있으며, 실제 사고 발생도 적지 않은 것으로 조사되었다.

셋째, 노면표시 제거시에 다량의 아스팔트 및 도로의 잔재, 소음, 분진이 발생한다. 이는 작업원의 건강을 위협하고 환경을 오염시키는 요소이며, 민원의 원인이 되고 있다. 이와같은 조사 결과는 개발장비의 주요 구성요소를 도출하기 위한 기초 자료가 되었다.

2.2 기존 방식의 1일 생산성

본 연구에서는 우선 단위작업구간의 노면표시 제거시간을 측정하고, 이를 환산하여 1일 작업량을 산출하였다. 다시 말하면 워크샘플링(work sampling) 기법을 이용하여 단위작업구간의 작업물량(길이 또는 면적) 대비 노면표시제거 시간을 측정하고, 이를 1일 8시간 작업에 제거가 가능한 총 제거면적으로 환산하였다.

여기서 워크샘플링 기법이란, 대상작업 내에서 이루어지고 있는 세부작업의 내용을 작업(working)과 비작업(non-working)으로 분류·관찰함으로써, 작업의 생산성을 측정하고 효율성을 판단하는 기법이다. 본 연구에서는 노면표시제거작업의 소요시간을 측정하기 위해 워크샘플링 기법 중 가장 널리 이용되고 있는 스톱워치(stop watch)법을 이용하였다. 스톱워치법은 작업에 소요되는 시간을 스톱워치를 이용하여 세부 작업별로 측정하는 방법으로, 작업시간 측정이 용이하다. 그러나 이 방법은 작업시간 측정 시 오차가 발생할 수 있다는 단점이 있으므로, 본 연구에서는 실시간 비디오 촬영 기법을 이용하여 스톱워치법이 가진 문제점을 보완하였다.

전술한 바와 같이 깎기식 제거기는 지면과의 마찰열을 식히기 위하여 잦은 휴식시간이 필요하며, 베어링 교체시간도 소요된다. 그러나 본 연구에서는 이러한 비작업 시간을 제외하고 순수 실작업 시간만을 바탕으로 하여 단위 작업물량에 대한 생산성을

도출하였다. 3차에 걸쳐 측정된 재래식 노면표시 제거방식의 생산성과 이를 1일 작업생산성으로 환산한 값은 표 1과 같다.

기존 방식으로 작업할 때, 폭 15cm의 노견선에 대하여 평균 작업거리는 분당 약 1m이다. 이를 1일 생산성으로 환산하면 509.7m/일 이다. 이러한 재래식 방식의 생산성 값은 개발된 장비의 생산성을 평가하기위한 기초 자료가 된다.

표 1. 현행 노면표시 제거작업 시간측정 결과

구분		1차 현장	2차 현장	3차 현장	평균 생산성
생산성 (측정값)	거리	1.15m/min	1.04m/min	0.99m/min	1.06m/min
	면적	0.17m ² /min	0.16m ² /min	0.15m ² /min	0.16m ² /min
일당 생산성 (환산값)	거리	555.1m/day	500m/day	474m/day	509.7m/day
	면적	82.8m ² /day	75m ² /day	71.1m ² /day	76.3m ² /day

2.3 기존 방식의 위험성

본 연구에서는 노면표시제거 작업시 발생할 수 있는 안전사고 발생 가능성과 그 위험성에 관한 현황을 파악하기 위하여, 작업 중 위험요소에 관하여 설문조사 및 현장작업자들의 면담조사를 병행하여 수행하였다. 면담 및 설문조사 기간은 2003. 4~2004. 9까지이며 대상은 총 8개의 방문현장에서 작업을 수행한 노면표시제거 경력자 34명이다.

노면표시제거 작업은 그 특성상 도로의 한복판에서 차선의 일부를 막고 수행하므로, 차량에 의한 교통사고 위험이 상존하고 있다. 또한 프로판가스 화염으로 가열하여야 하므로, 프로판가스의 취급부주의로 인한 폭발이나 화재의 위험성 역시 매우 큰 실정이다. 그리고 교통사고나 폭발·화재사고 이외에도 주행중인 차량의 매연, 먼지 그리고 노면표시제거시 발생하는 유해한 분진 등으로 인해 작업자의 건강이 크게 위협받고 있는 실정이다.

본 연구에서 수행한 조사에서도 a) 작업중 차량에 의한 교통사고 위험(37.1%), b) 잔흔적 제거에 이용되는 프로판가스의 폭발 및 화재 위험 등 프로판 가스로 인한 사고위험(28.6%)에 대해

표 2. 설문조사를 통한 위험요소 분석 결과

질문	응답	응답비율(%)
노면표시 제거작업에서 안전사고의 위험이 가장 높은 항목은?	작업중 발생하는 교통사고	37.1
	노면표시 제거장비의 오작동 또는 부적절한 취급에 따른 사고	21.4
	프로판 가스의 부적절한 취급에 따른 사고	28.6
	기타	12.9
노면표시 제거작업 도중 실제 안전사고 경험은?	교통사고	54.5
	노면표시 제거장비의 오작동 또는 부적절한 취급에 따른 사고	18.2
	프로판 가스의 부적절한 취급에 따른 사고	18.2
	기타	9.1

여 작업자들이 가장 위험하다고 생각하고 있었다. 또한 전체 응답자의 54.5%가 작업장 근처를 주행중인 차량에 의한 교통사고를 경험한 것으로 응답하여, 실제 사고발생 빈도 역시 높은 것으로 나타났다(표 2 참조). 그러나 작업원들은 노면표시제거 작업과 관련된 별도의 안전교육을 받지 않은 것으로 조사되었다.

3. 프로토타입 모델 개발 및 실험

3.1 프로토타입 모델 개발

본 연구에서 설계·제작할 워터젯 분사시스템은 도로 노면표시 제거를 위해 최대 2,500 bar, 평균 1,500 bar의 초고압수를 분사하는 장치이다. 이러한 초고압을 발생하는 장치로는 80cc/rev, 1,200rpm인 유압 구동식 워터펌프를 사용하였다. 트럭의 엔진과는 별도로, 2,600cc, 82hp, 4,150rpm 규격의 엔진을 장착하여 이 엔진에 의해 워터펌프가 구동된다. 개발장비의 축압기 용량은 1리터(liter)이고, 물탱크 용량은 200리터이다. 워터펌프에 의해서 발생된 고압의 물은 85l/min, 2,500bar 규격의 체크밸브와 300l/min, 320bar 규격의 Sol. 밸브에 의해서 통제된다.

분사 장치로는 관경 0.2mm의 노즐(nozzle)을 사용하였다. 이때 노즐과 작업생산성의 관계를 파악하기 위하여 고정형 1홀(hole) 노즐, 고정형 2홀 노즐, 회전형 2홀~6홀 노즐을 적용하였다.

작업진행 상황을 운전원이 파악할 수 있도록, 트럭의 운전석에 B/W CCD 모니터를 설치하였다. 그리고 작업후 발생하는 잔재를 회수하기 위하여 3.2hp, 2,500mmH₂O의 회수장치를 부착하였다. 모든 장치는 트럭에 싣고 작업할 수 있도록 모바일 타입으로 개발하였다. 그리고 별도의 엔진에 의해서 작동되는 유압펌프를 제외한 모든 장치들은 같은 엔진에서 발전하여 공급하는 전기파워를 이용하는데, 개발장비의 총 소비전력은 5.2kW이다.

이러한 조건들을 바탕으로 작성한 개발장비의 설계도면은 그림 2와 같다.

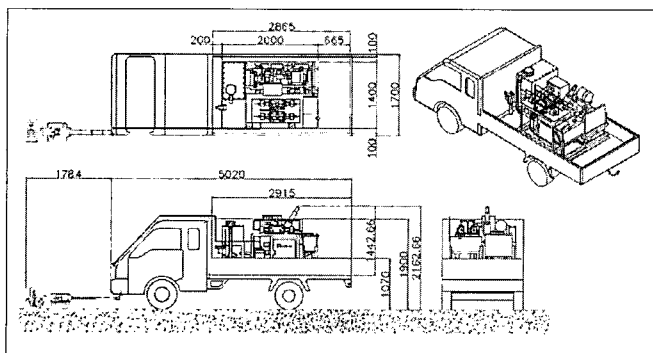


그림 2. 프로토타입 모델 설계

개발장비는 기본적으로 a) 워터젯 시스템, b) 회전형 멀티노즐(rotary multi-nozzle) 시스템, c) 요동 액추에이터(sweeping actuator), d) 폐기물 회수장치(suction system), e) 모니터링 시스템(monitoring system)의 5개 구성요소로 이루어져 있다. 이러한 시스템은 도로상에서 움직이며 작업을 수행할 수 있도록, 이동 차량에 탑재할 수 있는 모바일 시스템(mobile system)이다. 개발된 프로토타입은 작업자의 안전을 고려하여 작업자 운전석에서 전체 시스템의 제어를 할 수 있도록 제작되었다. 실제 제작된 프로토타입은 그림 3과 같다.



그림 3. 프로토타입 모델의 제작

3.2 현장 실험

본 절에서는 구축된 프로토타입으로 현장실험을 실시하여, 기술적인 성능을 검토하고 생산성을 측정하였다. 실험에는 운전원 1인 보조원 1인 총 2인이 투입되었다. 투입 인원들은 사전에 모두 개발장비의 조작에 숙련된 상태에서 본 실험에 투입되었다. 그리고 개발장비 이외에는 별도의 장비 없이 실험이 진행되었다.

실험대상 도로는 폭 8m의 일방통행 도로로서 노견선을 제외한 중앙선 및 주행선, 기타 노면표시 선이 없는 곳이다. 따라서 제거대상 노면표시의 종류는 노견선으로, 중앙선과 마찬가지로 연속적인 제거가 가능하였다. 제거 대상 노면선의 길이는 100m, 폭은 15cm로 제거대상 물량의 면적은 15m²로, 연속된 작업을 수행하므로 장비의 성능평가에는 매우 적절할 것으로 판단되었다.

생산성 데이터는 날씨 및 장소, 현장상황 등과 같은 작업 환경이나 기타 여건에 따라 많은 영향을 받는다. 따라서 재래식 방식과 자동화방식의 생산성을 가장 정확하게 비교하기 위해서는 동일한 작업환경 과 여건 하에서 노면표시제거 작업이 수행될 수 있도록 작업환경을 조성해야 한다. 그러나 기존의 재래식 방식과 동일한 작업여건을 조성하는데 현실적으로 한계가 있으므로, 최대한 유사한 작업환경과 여건을 설정하였다. 그리고 개발장비의 현장실험을 통하여 자동화방식의 생산성을 측정하였다. 본

연구의 현장실험은 노견선을 대상으로 실시하였다.

실험 과정은, 우선 요동 액추에이터와 모바일 시스템을 연결하고 개발장비에 대한 전체적인 시스템을 점검하였다. 그리고 제거대상 노면표시인 노견선으로 개발장비를 이동하고, 요동 액추에이터를 이용하여 노즐의 위치를 선정하였다. 워터젯 시스템을 가동하여 제거에 적합한 압력이 되기까지 대기하였다가, 적절한 압력에 도달한 후 노면표시를 제거하였다. 이와 같은 실험을 10m 간격으로 구분해 놓은 노견선에서 워터젯 시스템을 가동과 중단을 반복하며 실시하였고, 이와 함께 생산성을 측정하였다. 이와같은 반복실험 결과, 제작된 장비를 이용하여 노면표시를 제거할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 육안으로 제거된 상태를 확인한 결과 그림 4³⁾와 같이 제거면 또한 양호함을 알 수 있었다.

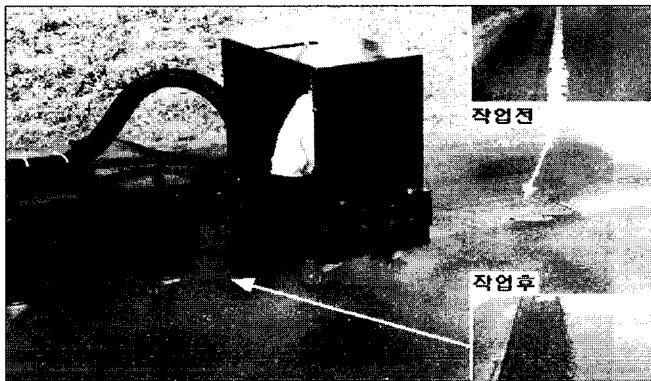


그림 4. 현장실험 결과

개발장비를 이용한 노면표시 제거작업의 생산성을 평가하기 위해서는, 개발장비의 생산성 데이터가 필요하다. 개발장비의 생산성 데이터는 첫째, 재래식 방식과 동일한 작업(측정 불필요), 둘째, 재래식 방식과 상이한 작업(측정 필요), 셋째, 재래식 방식에는 없는 추가작업(측정 필요)의 세 가지로 나눌 수 있다. 이들을 분석하여 정리하면 그림 5와 같다.

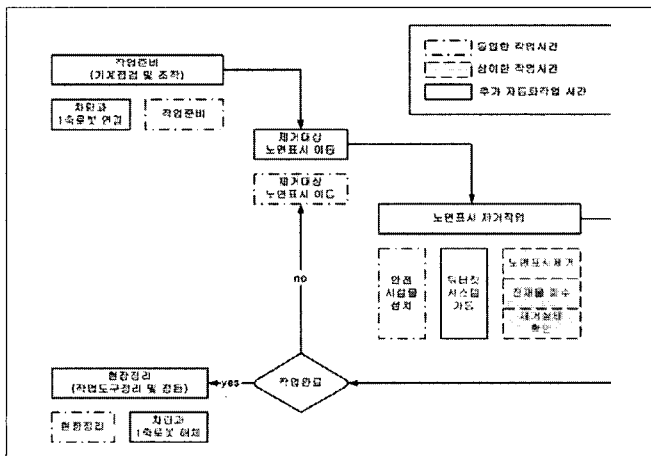


그림 5. 생산성 데이터의 유형 분석⁴⁾

표 3. 개발장비에 의한 노면제거 작업 실험결과

	실험거리(m)	실험횟수(회)	소요시간(초)	
			합계	평균
1축로봇 연결시간(A)	-	10	9,621	962.1
워터젯 가동시간(B)	-	10	1,139	113.9
노면표시 제거시간(C)	10	10	756	75.6
1축로봇 해체시간(D)	-	10	7,949	795.49
단위거리(1m) 노면표시 제거시간 (B+C)/10				18.95
1축로봇 연결·해체시간 A+D				1,757.0

본 연구에서는 총 10회에 걸쳐 1축로봇 연결→워터젯 시스템 가동→노면표시제거→1축로봇 해체의 전 단계를 실험하고, 그 소요시간을 측정하였다. 총 100m(10m×10회), 폭 15cm의 차선 제거시간(워터젯 시스템 가동에 소요되는 시간+노면표시제거 소요시간)은 1,895초가 소요되는 것으로 나타났다(표 3 참조).

따라서 개발장비의 작업거리는 1분당 약 3.17m이며, 1일에 약 1,520m를 작업할 수 있는 것으로 나타났다. 이 값은 차량과 1축로봇이 이미 연결되어 있어서 연결·해체시간이 필요하지 않는 경우를 가정한 것이다. 그러나 실제 작업에서는 작업수행전에 1축로봇을 연결하고, 작업종료후에는 1축로봇을 해체할 것이며, 이러한 작업들에는 시간이 소요된다. 따라서 이를 최대 작업속도라고는 할 수 있으나, 일반적인 작업속도라고 하기는 곤란하다. 연결·해체시간을 반영하여 일반적인 작업속도를 산정하면 다음과 같다.

- 1축로봇 연결 및 해체시간 : 1,757초/회
- 1일 노면표시제거 가능시간
: 28,800초(8시간) - 1,757초 = 27,043초
- 1일 노면표시제거 가능거리
: 27,043초 ÷ 18.95초/m = 1,427.07m
- 1축로봇 연결 및 해체시간의 환산
: 1,757초 ÷ 1427.07m = 1.23초/m
- 1m 당 평균 작업시간
: 18.95초 + 1.23초 = 20.18초

3) 한국건설기술연구원, 초고압수를 이용한 노면표시 자동제거 장비개발, 한국건설교통기술평가원, 연구보고서, 2004.
4) 본 연구의 성능평가 기준은 제작된 프로토타입의 현장적용실험결과값(생산성, 노무자투입 수 등)과 장비개발 및 운영, 유지관리에 소요되는 비용 등 사실적 근거를 바탕으로 분석하였음. 아울러 교통혼잡비용은 시뮬레이션을 통해 예측되는 기대효과를 분석한 것으로, 시뮬레이션에 입력된 기본자료는 현장적용실험 결과값(생산성 등)을 바탕으로 분석된 결과임.

따라서 1축로봇 연결 및 해체작업을 포함할 경우에 개발장비로 하루 동안 제거할 수 있는 노면표시는 약 1,427m이며, 1m의 노면표시를 제거하는데 소요되는 시간은 평균 20.18초가 된다.

4. 개발장비의 성능평가⁴⁾

4.1 생산성 및 경제성 분석

4.1.1 생산성 향상

본 연구에서는 개발장비의 생산성과 기존 방식을 이용할 경우에 대한 생산성을 비교하였다. 기존 노면표시제거 작업방식의 작업속도와 개발장비에 의한 작업속도를 비교하면 표 4와 같다. 측정 결과를 토대로 생산성 달성 비율(productivity achievement ratio)을 산출하면 다음과 같다.

■ 생산성 달성비율

$$= \text{개발장비의 생산성} / \text{기존방식의 생산성} \times 100$$

표 4. 재래식 장비와 개발장비의 생산성 비교

	재래식 장비(A)	개발장비(B)	차이(B-A)	생산성 달성비율 (B/A×100)
제거거리 (m/day)	509.7	1,427.1	917.4	280.0
제거면적 (m ² /day)	76.3	214.1	137.8	

생산성 달성 비율을 분석한 결과, 현재 생산성(actual productivity) 대비 획득 가능한 생산성(obtainable productivity)이 280.0%인 것으로 분석되었다. 이는 기존 작업방식의 1일(8시간) 생산성인 509.7m 물량을 개발장비로 제거하기 위해서는 2시간 51분 36초가 소요됨을 의미하며, 결국 5시간 8분 24초의 작업시간 절감효과를 얻을 수 있음을 뜻한다.

4.1.2 인력절감

전술한 바와 같이, 재래식 방식의 경우 노무인원은 최소 5인~최대 8인까지 소요되는 것으로 조사되었다. 본 연구에서는 비교대상을 최소 소요인원인 5인을 기준으로 하여, 작업반장(깎기식 차선제거기 운전원 겸임)-1인, 프로판가스 화염 작업원-1인, 바닥 마무리(잔흔적 제거) 작업원-1인, 청소-1인, 안전요원-1인으로 설정하였다. 이때 노면표시제거 자동화 장비의 활용을 통해 재래식 노면표시제거 작업에 투입되는 5명의 노무자 중 3명을 절감할 수 있을 것으로 기대된다.

이러한 인력절감 효과는 노면표시 제거작업의 구조적인 문제

의 해결에 기여할 수 있을 것이다. 기존의 방식은 수작업에 의존하는 노동집약형 생산방식인데, 이와 같은 업종은 산업구조가 불안정하고 노동조건이 열악하므로 청년층이 취업을 기피하고 있다. 따라서 기능인력이 부족하고 점차 고령화되고 있으며, 이로 인하여 기능인력 부족 현상이 심해지고 있다. 이러한 인력부족으로 기능수준이나 취로의식이 저하되고, 품질과 생산성이 떨어지며, 노동재해의 원인이 되는 등 많은 문제가 발생되고 있는 실정이다. 개발장비는 이러한 인력구조 문제를 해결하는 데에 일조할 수 있을 것으로 기대된다.

4.1.3 비용절감

위터젯을 이용한 자동화 노면표시제거 방식은 생산성 향상, 인력절감 등 많은 잇점을 가지고 있다. 일 예로, 개발장비의 도입으로 인한 3명의 노무비 절감액을 단순계산하면, 표 5에서와 같이, 1일에 약 18만원 정도이다. 그러나 이러한 인력절감 효과가 바로 비용절감으로 이어지는 것은 아니다. 왜냐하면 개발장비에 의한 방식은 인력을 절감시키는 대신, 개발장비라는 추가비용 투입 유발요소를 가지고 있기 때문이다. 다시 말하면, 위터젯을 이용한 방식의 추가비용을 고려하지 않고 발생편익만으로는 경제적 타당성을 분석할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 노면표시제거 자동화 장비 도입에 따른 연간 발생편익과 노면표시제거 자동화 장비의 연간 추가비용을 추정하여 상호 비교·분석하였다.

표 5. 재래식 장비와 개발장비의 노무비 비교

구분	재래식 방식			자동화 방식		
	인원(명)	단가(원)	비용(원)	인원(명)	단가(원)	비용(원)
건설기계 운전기사	2	78,015	156,030	1	78,015	78,015
보통인부	3	52,374	157,122	1	52,374	52,374
소계	5	-	313,152	2	-	130,389

자동화 노면표시제거 방식의 1일 노무비 절감액
= 313,152 - 130,389 = 182,763원

본 연구에서는 연간 추가비용을 자동화 장비 제작비용과 연간 유지보수 비용으로 구분하여 추정하였다. 추정에 필요한 변수와 가정값은 위터젯 등 관련 시스템개발과 운영에 경험이 풍부한 전문가와의 인터뷰를 통하여 산정되었다. 그 결과, 노면표시제거 자동화 장비 1대 제작비용은 82,000,000원⁵⁾이고, 1~5년 동

5) 2004년 상반기 적용 건설업 임금실태 조사 보고서, 대한건설협회, 2004 중 건설기계운전기사, 보통인부의 시중노임 단가 적용

6) 개발장비의 제작비용 추정치는 다음과 같다. (단위 : 천원)
위터젯 시스템 : 34,000, 1축 로봇 : 14,000, 컨트롤러부 : 13,500
차량·보조장치 : 17,500, 회수장치 : 2,000, 감시장치 : 1,000

안의 연간 유지보수 비용은 제작비용의 5% (4,100,000원)이며, 6~10년 동안의 연간 유지보수 비용은 제작비용의 10% (8,200,000원)이고, 예상수명은 10년이며, 10년이 경과한 후에 노면표시제거 자동화 장비의 처분가치 및 잔존가치는 없는(0원) 것으로 설정하였다.

개발장비의 연간 작업일수는 재래식 방식에 의한 업체의 평균 작업량으로부터 환산하였다. 재래식 방식에 의한 업체의 평균 작업일수는 120일이므로, 먼저 이 값으로부터 작업물량 (61,164m)을 도출하였다. 그리고 도출된 작업물량을 바탕으로 개발장비로 수행하는데 소요되는 기간(43일)을 산출하였다.

노면표시제거 자동화 장비 도입에 따른 노무비 절감과 장비비 절감만을 고려한 연간 발생편익은 표 6과 같이 약 6,231만원이다. 이러한 값들을 바탕으로 하여, 자동화 노면표시제거 방식의 연간 추가비용과 발생편익을 함께 현금 흐름도(cash flow diagram)로 나타내면 그림 6과 같다.

표 6. 개발장비의 도입에 따른 연간 발생 편익 추정

발생편익구성	산출식	편익(원)
노무비절감편익	노무비*작업일수* - 노무비** *작업일수** = 313,152원/일 × 120일 - 130,389원/일 × 43일	31,971,513
장비비절감편익	꺾기식장비비*작업일수* - 꺾기식장비비** *작업일수** = 252,842원/일 × 120일 - 0원 × 43일	30,341,040
연간 발생편익 합계		62,312,553

* 재래식 방식으로 작업할 경우에 소요되는 값

** 개발장비로 작업할 경우에 소요되는 값

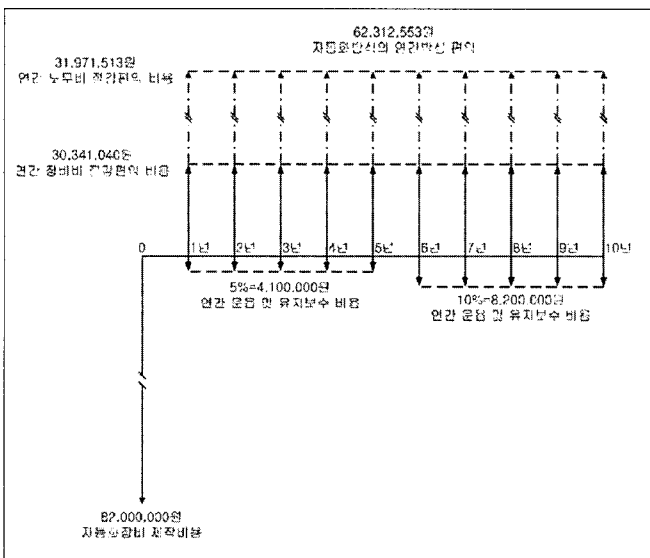


그림 6. 개발장비 적용시의 현금흐름도

손익분기점은 장비구입비용과 비용절감액을 현재가치로 환산한 값이 같아지는 기간이므로, 회수기간 n값을 보간법으로 구하면 약 2.18개월 정도이다. 따라서 자동화장비 1대 구입에 따른

회수기간은 2년3개월로 장비구입 후 27개월이 지난 시점에서는 투자비용을 모두 회수할 수 있는 것으로 분석되었다.

이러한 편익과 추가비용 산정값을 바탕으로 하여 편익/비용 비율(benefit/cost ratio)을 분석하였다. 편익/비용 비율 분석이란 투자 대안에 따라 발생하는 편익의 현재가치(PW; Present Worth)와 소요되는 비용의 현재가치와의 비율 즉, 편익/비용 비율을 구하여 경제적 채산성을 판단하는 일반적인 경제성 분석방법이다. 발생편익이 소요비용보다 클 경우 즉, 편익/비용 비율이 1보다 클 경우 그 투자 대안은 충분히 경제적 타당성이 있다고 판단할 수 있다.

자동화 노면표시제거 방식의 경제성 분석을 위해 현금 흐름도를 바탕으로 편익/비용 비율을 산출하면 다음과 같다.

■ 발생편익의 현재가치(PW of benefits)

$$= 62,312,553(P/A, 10\%, 10)^7 = 62,312,553 \times 6.1446$$

$$= 382,883,663\text{원}$$

■ 추가비용의 현재가치(PW of cost)

$$= 82,000,000 + 4,100,000(P/A, 10\%, 5)$$

$$+ \{8,200,000(P/A, 10\%, 10) - 8,200,000(P/A, 10\%, 5)\}$$

$$= 82,000,000 + 8,200,000(P/A, 10\%, 10)$$

$$- 4,100,000(P/A, 10\%, 5)$$

$$= 82,000,000 + (8,200,000 \times 6.1446)$$

$$- (4,100,000 \times 3.7908)$$

$$= 116,843,225\text{원}$$

■ 편익/비용 비율(Benefit/Cost Ratio)

$$= \text{PW of benefit} \div \text{PW of cost}$$

$$= 382,883,663 \div 116,843,225$$

$$= 3.28 > 1$$

편익/비용 비율 분석 결과, 편익/비용 비율이 1보다 큰 3.28이 산출되었다. 따라서 노면표시제거 자동화 장비를 도입하는 경우 추가 소요되는 비용보다 발생하는 편익이 더 크므로 경제성을 확보할 수 있으며, 순이익이 발생함을 알 수 있다.

4.2 안전 및 품질 분석

7) $P = A(P/A, i, n)$
 $(P/A, i, n) = [(1+i)^n - 1] \div [i \times (1+i)^n]$: 현재가치수
 P : 현재가치(PW) A : 연차 동일액 (Annual Cost)
 i : 최소기대수익률(MARR) n : 연(年)수

4.2.1 작업자의 안전

노면표시제거 작업은 주행중인 차량의 주변에서 이루어지므로, 차량에 의한 사고 위험이 상존하고 있다. 또한 작업원들은 프로판 가스의 화재로 인한 사고의 위험에도 항상 노출되어 있는 실정이다. 그리고 주행중인 차량의 매연, 먼지, 노면표시제거 시 발생하는 유해한 분진 등으로 인해 작업자의 건강이 위협받고 있다. 그러나 본 연구에서 개발한 노면표시제거 장비를 이용하여 작업이 수행될 경우, 작업원들은 모두 안전한 차량 내부에서 작업을 수행하므로 작업원들이 위험한 환경에 직접 노출되지 않게 된다. 또한 프로판 가스 화염과 같은 위험한 재료를 사용하지 않아도 된다. 따라서 재래식 방식으로 노면표시를 제거하는데 상존하였던 위험요소들을 근본적으로 배제시킬 수 있다. 그러므로 개발장비의 도입에 따른 노무자의 안전성 확보는 매우 높ی 평가될 수 있을 것으로 사료된다.

4.2.2 작업 품질

기존 작업방식에서는 아스팔트의 상황, 도로 노면의 요철, 기후 등에 따라 작업의 난이도가 달라지고, 악조건일 경우에는 작업을 진행하기 곤란하였다. 일 예로, 높낮이가 완만하게 변하는 노면에서는 작업자가 깎기식 제거기 비트(bit)의 높낮이를 조절해 가면서 작업하는데, 노면에 요철이 있으면 작업이 매우 어렵거나 불가능하였다. 또한 여름철과 같이 기온이 상승하면 아스팔트가 물러져서 깎기식 제거기로는 깎이지 않고 뭉친다. 이때에는 작업품질이 극히 낮아지게 되며, 작업이 불가능한 상황까지도 자주 발생된다. 또 잔흔적 제거를 위하여 수작업으로 프로판 가스 화염으로 가열한 후에, 역시 수작업으로 가열된 노면상의 표지 잔재를 지워야 했다.

따라서 작업품질은 주변 환경이나 작업자의 상태에 크게 영향을 받게 된다. 특히 작업자의 훈련도, 숙련도, 피로도 등에 따라 품질차이가 발생할 가능성이 높았다. 다시 말하면, 작업원이 자신의 경험을 바탕으로 하여 도로 노면의 요철, 아스팔트 상태, 계절, 날씨 등을 감안하여 작업하므로, 노면표시제거 후의 노면 파손 정도, 제거 흔적 등을 주관적으로 판단한다. 따라서 균일한 품질을 확보하기 어렵고, 품질향상도 기대하기 힘든 실정이다.

그러나 본 연구를 통해 개발된 워터젯을 이용한 노면표시제거 장비를 이용하여 노면표시를 제거할 경우, 자동화시공에 의해 균일한 품질을 확보할 수 있다. 특히 요철과 같은 기존 방법으로는 작업진행이 곤란한 요소들이 있더라도, 개발장비로는 동일한 품질을 확보하며 작업할 수 있다는 장점이 있다. 현재 노면표시 제거작업과 관련한 기준은 도로공사표준시방서, 고속도로공사 전문시방서, 기타 각 발주청 기준 등이 있는데, 이들 기준에서는 시공품질에 관한 허용오차를 정량적으로 제시하고 있지 않고 단

지 노면손상을 최소화해야 한다는 규정만 있다. 이러한 기준에 비추어 볼 때, 노면손상 최소화, 균일한 품질확보 측면에서 효과가 클 것으로 기대된다.

자동화방식과 기존방식의 안전 및 품질효과에 대한 내용을 정리하면 다음 표 7과 같다.

표 7. 재래식 장비와 개발장비의 안전·품질비교

항목	재래식 방식	자동화 방식
안전	<ul style="list-style-type: none"> • 작업자의 교통사고 위험 • 프로판가스 폭발 위험 	<ul style="list-style-type: none"> • 재래식방식의 위험요소를 근원적으로 제거
품질	<ul style="list-style-type: none"> • 작업자의 숙련도에 의해 좌우 	<ul style="list-style-type: none"> • 장비에 의한 일정한 작업수준유지로 품질확보의 불확실성 제거 및 균일 품질 확보가능

4.3 교통혼잡비용 분석

4.3.1 시나리오 설정 및 분석

교통 혼잡비용이란, 도로를 주행하는 차량들이 교통 혼잡으로 인해 정상속도이하로 운행하게 됨으로써 발생하는 비용을 말한다. 다시 말하면, 교통 혼잡비용 추정 기준속도 이하로 차량이 운행하게 됨으로써 발생하게 되는 차량 운행비용의 증가와 시간 가치손실의 비용 등을 의미하는 것이다.

교통시설의 변화에 따른 영향을 사전에 예측하고자 할 때에, 실제 도로상에 실험하는 것은 현실적인 제약이 따르고 많은 비용이 소요되게 된다. 따라서 일반적으로 시뮬레이션(simulation) 방법이 이용된다. 교통 시뮬레이션 프로그램은 도로망에서 일어나는 제반 현상을 프로그램 상에서 구현하고 통행과 관련된 자료를 산출해 주는 기능을 갖추고 있다. 따라서 이를 이용하면 현실에서 실험해볼 수 없는 교통시설의 변화를 적용하고 이용자가 필요로 하는 지표를 도출할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 시뮬레이션 모형의 하나인 파라믹스(paramix)를 채택하였다.

본 연구에서는 기존 방식의 노면표시제거 1일 평균 작업거리가 509.7m/day인 점을 감안하여 시뮬레이션 대상 구간의 길이를 500m로 한정하였다. 그리고 시뮬레이션 대상 구간이 짧은 점을 감안하여 교통혼잡비용 중 운행비용 증가부분은 제외하고 시간가치비용만을 대상으로 분석하였다.

시뮬레이션을 위한 시나리오는 다음과 같다. 기존 노면표시제거 방식의 경우 오전 9시부터 오후 6시까지 9시간 동안(점심식사 1시간, 실 작업시간 8시간) 작업이 이루어진다. 그리고 기존 방식으로 제거할 수 있는 1일 평균 작업거리인 509.7m의 물량을 개발장비 방식으로 작업 할 경우 2시간 51분 36초가 소요된

다. 따라서 기존 방식의 경우는 오전 9시부터 18시까지 9시간을 작업시간으로 설정하고, 개발 장비를 이용하는 경우는 오전 9시부터 12시까지 3시간 동안을 작업시간으로 하였다.

본 연구에서는 시뮬레이션 모형을 현실과 유사한 조건으로 만들기 위하여 몇 가지 변수를 적용하였다. 일 예로, 시뮬레이션 모형에서는 시뮬레이션 시작 시각부터 각 기중점에서 차량이 도로상에 진입하기 시작하게 되는데, 현실에서는 그렇지 않다. 따라서 시뮬레이션 네트워크 상에 현실과 같은 교통상황이 구현되기 위한 초기화 시간을 고려하였다. 또한 일반적으로 작업을 위해 차로를 폐쇄하여 발생한 교통정체는 작업 종료 후에도 3시간 정도 지속된다. 따라서 이 역시 반영할 수 있도록 시뮬레이션 시간을 설정하였다. 따라서 오전 8시부터 오후 9시까지 13시간 동안 시뮬레이션을 수행하였으며, 초기화 시간 1시간을 제외한 나머지 시간 동안의 효과척도를 산출하여 시간절감 효과를 분석하였다.

오전 8시~12시까지 노면표시제거 작업이 수행되면, 동일 구간, 동일 시간대이므로 재래식 방식과 자동화 방식 모두의 교통 혼잡비용은 동일한 값이 발생하게 된다. 따라서 12시~21시까지 9시간 동안 발생하는 재래식 및 자동화 방식의 교통 혼잡비용을 시뮬레이션을 활용하여 산출·비교함으로써 교통 혼잡비용 절감분을 산정할 수 있다. 다시 말하면 교통혼잡비용 절감분은 아래의 식과 같이 표현될 수 있다.

- 교통혼잡비용 절감분(12시~21시)
 - = 재래식 작업으로 발생한 혼잡비용(12시~18시)
 - + 재래식 작업후 혼잡지속에 의한 비용(18시~21시)
 - 개발장비로 작업후 혼잡지속에 의한 비용(12시~15시)

본 연구에서는 12시~18시 사이의 교통혼잡비용은 개발장비로 작업한 후에 발생하는 혼잡 지속에 의한 비용을 미리 감하여 산출함으로써 시뮬레이션을 단순화 하였다. 그림 7은 이러한 시나리오를 도식화한 것이다.

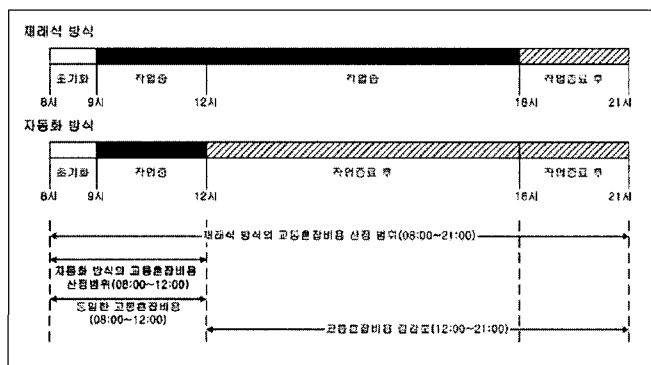


그림 7. 교통혼잡비용 분석의 시나리오4)

본 연구에서는 개발장비의 도입에 따른 영향의 시뮬레이션 분석 대상구간으로 서울소재 양재IC 부근의 도로를 선정하였다. 왜냐하면 이 구간은 다른 도로에 비해 교차로 간 거리가 멀고 교차하는 교통량이 적으므로 개략분석에 적합하기 때문이다. 또한 과천→양재 방향의 4개 차로 중 1개 차로(1차로)에서만 작업이 이루어지며, 이러한 작업이 다른 차로에는 영향을 미치지 않는 것으로 가정하였다. 그리고 이러한 가정들을 바탕으로 하여, 파라믹스 시뮬레이션(paramics simulation)에 필요한 자료들을 입력하고 시뮬레이션을 수행하였다.

4.3.2 교통혼잡비용 분석

본 연구에서는 우선 차량평균 통행시간, 총 차량대수, 총 통행시간 등 시뮬레이션을 통해 도출된 결과와 사전에 조사된 관련 데이터를 활용하여 다음과 같이 시간가치비용을 산정하였다. 그림 8은 이를 바탕으로 하여 교통 혼잡비용을 시뮬레이션하는 장면이다.

$$\begin{aligned} \text{■ 교통 혼잡비용} &= \text{시간가치비용} \\ &= \text{총통행시간(VHT)} \times \text{평균시간가치} \end{aligned}$$

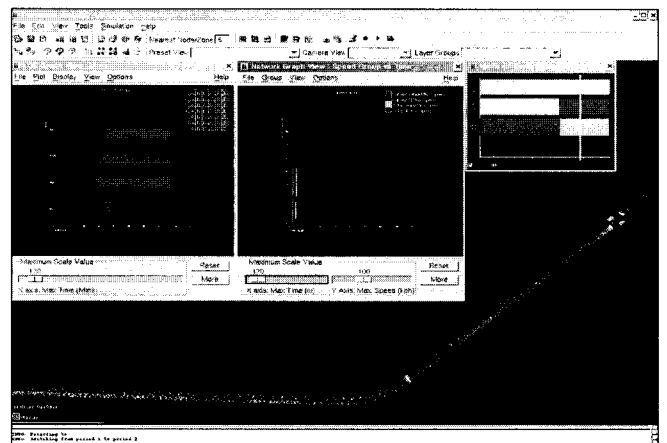


그림 8. 파라믹스 시뮬레이션에 의한 교통혼잡비용 분석4)

평균시간가치를 산정하기 위해서 본 연구에서는 '2003 건설교통 통계연보'에 제시된 통행목적별 시간가치 값을 적용하였다. 여기에는 각 차량의 평균 재차인원을 감안하여 도출한 차종별 대당 평균 시간가치가 제시되어 있다. 또한 통행목적별 통행분포는 시간대에 따라 차이가 있으므로 '2002 서울시 가구통행실태조사'의 서울 및 수도권에서 조사된 시간대별 통행목적별 통행분포를 활용하였다. 이러한 자료를 바탕으로 시뮬레이션을 수행하여 산정한 교통혼잡비용 절감분은 표 8과 같다.

표 8. 개발장비의 도입에 따른 교통혼잡비용 절감액 산정

시간대	재래식			자동화		
	VHT (hour)	평균 시간가치 (원)	시간 가치비용 (원)	VHT (hour)	평균 시간가치 (원)	시간 가치비용 (원)
9시-12시	동일					
12시-18시	8,547.78	5256.23	44,929,117	7,353.36	5256.23	38,650,968
18시-21시	7,180.89	4225.09	30,339,924	3,625.99	4225.09	15,320,143
합계	15,728.67		75,269,041	10,979.35		53,971,111

통행시간 절감편익(시간 가치비용 절감) = 75,269,041 - 53,971,111 = 21,297,930원

시뮬레이션 결과, 개발장비의 도입에 따른 교통혼잡비용 절감액은 1일에 약 2천1백만원인 것으로 나타났다. 따라서 한 노면표시제거업체의 1년 동안 평균작업일수인 120일 동안의 작업을 모두 개발장비로 수행할 경우, 사회적 편익은 연간 약 25.5억원의 교통혼잡비용 절감효과가 있을 것으로 예상된다. 한편 본 장비 개발시 내구성 등을 감안하여 그 수명이 최소 10년 이상이 될 수 있도록 설계 및 제작되었다. 이를 바탕으로 개발장비의 예상수명을 10년이라고 가정했을 때, 교통 혼잡비용 절감효과를 현재 가치로 환산해보면, 10년 동안 현재가치로 약 157억원의 사회적 비용을 절감할 수 있을 것으로 분석되었다. 따라서 전체 노면표시제거 업체들이 본 연구의 개발장비를 도입함으로써 얻을 수 있는 사회적 편익은 막대할 것으로 기대된다.

- 교통 혼잡비용의 현재가치(PW of benefits)
- = 2,555,751,600(P/A, 10%, 10)
- = 2,555,751,600 × 6.1446
- = 15,704,071,281원

5. 결론

본 연구의 목적은 워터젯기술을 이용한 노면표시 제거 장비를 개발하여 실험하고, 이를 바탕으로 생산성과 성능을 평가하는 것으로, 그 결과는 다음과 같다.

첫째, 현행 노면표시 제거작업 분석결과, 재래식 노면표시 제거작업은 작업준비, 안전시설물 배치, 깎기식 제거기로 노면표시제거, 노면청소, 프로판가스 화염으로 가열, 바닥마무리, 이동 현장정리로 구분할 수 있다.

둘째, 재래식 공법은 인력의존적이며, 교통사고나 화재, 폭발의 위험이 큰 문제점을 가지고 있다. 또한 깎기식 제거기가 자주 고장을 일으키므로, 비작업 시간도 자주 발생한다.

셋째, 워터젯을 이용한 노면표시 제거장비를 개발하여 현장실험한 결과, 기존방식과 비교하여 280.0%의 생산성 달성 비율을

얻을 수 있었다. 또한 개발장비로 작업하면 재래식 공법으로 작업할 때보다 최소 3명의 노무인력을 줄일 수 있으므로, 최근의 인력부족, 기능저하 등의 구조적인 문제를 완화시키는데 기여할 수 있다.

넷째, 개발장비를 도입하기 위하여 투입되는 추가비용과 발생하는 편익을 분석한 결과 3.8로, 매우 큰 것으로 나타났다. 따라서 개발장비에 대한 투자는 경제적 타당성이 충분할 것으로 생각된다.

다섯째, 개발장비로 작업하면 작업원이 도로상에 노출되지 않고, 프로판 가스 화염과 같은 위험한 자재도 취급하지 않게 된다. 따라서 작업의 안전도를 획기적으로 향상시킬 것으로 기대된다. 또한 기존 방식은 작업원의 숙련도에 따라 작업품질이 달라지나, 개발장비를 도입하면 자동화 방식에 의해 균일한 품질을 확보할 수 있다.

여섯째, 개발장비로 기존 방식의 120일 작업물량을 작업할 경우, 한 업체마다 약 25.5억원의 교통혼잡비용을 절감할 수 있다. 개발장비의 기대수명은 최소 10년이다. 따라서 개발장비를 도입하면, 현재가치로 약 157억원의 사회적 비용을 절감할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서 개발된 장비는 프로토타입 모델이므로, 향후 상용화를 위한 성능개선 연구가 추가적으로 수행되어야 한다. 이러한 성능향상을 통하여 노면표시 제거의 작업시간을 단축하고, 차량통행으로부터 작업자를 보호하며, 교통차단을 최소화하고, 교통 혼잡비용 및 물류비용을 감소시키며, 교통사고 유발위험을 줄이고, 작업을 환경 친화적으로 수행하고, 깨끗한 작업환경을 만들 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 권순욱, 김군태 한재구, 초고압수를 이용한 노면표시 자동제거 장비개발을 위한 제어시스템 및 노면최적조건에 대한 연구, 한국건설관리학회논문집, pp139~146, 2004.8
2. 도로공사표준시방서, 건설교통부, 2003
3. 도로교통법, 행정자치부, 2003
4. 한국건설기술연구원, 초고압수를 이용한 노면표시 자동제거 장비개발, 한국건설교통기술평가원, 연구보고서, 2004.
5. 2002 서울시 가구통행실태조사, 서울특별시, 2003
6. 2003 건설교통 통계연보, 건설교통부, 2003
7. 2004년 상반기 적용 건설업 임금실태 조사 보고서, 대한건설협회, 2004
8. Hydraulic Control systems, John Wiley & Sons, Inc., pp 174~270, 2005

9. K. Park, Y. Ham, S. Kwon, K. Kim, J. Han, J. Noh,
Development of automatic road marking removing
equipment using high pressure water-jet, ISARC2004,
pp 165~170, 2004.9
10. [http://news.naver.com/news/read.php?mode=LSD&
office_id=016&article_id=0000184135§ion_id=103
&menu_id=103](http://news.naver.com/news/read.php?mode=LSD&office_id=016&article_id=0000184135§ion_id=103&menu_id=103)

논문제출일: 2005.12.20

심사완료일: 2006.10.18

Abstract

Current removing process is labor intensive and time consuming, employing a conventional grinding type manual machine. From a social and economic point of views, these kinds of manual tasks bring about social inconvenience and economic loss including traffic jam and high labor costs. The objective of the study was to develop and evaluate a road stripe removal equipment using water jet technology. The following shows the results. First, It was analyzed that the obtainable productivity from the equipment developed in the study is 280% compared to the current equipment. In this study, it was also calculated the Benefit/Cost Ratio and the result showed that the ratio is 3.28, so it is expected that the equipment can produce great benefits for the relevant companies. Second, an analysis was also conducted on the traffic congestion cost, and the equipment could save about ₩2,550 million per day compared to the conventional equipment. Therefore, it is analyzed that the economic viability of the equipment is sufficient.

Keywords : water-jet, road stripes, construction automation, work process analysis, safety, performance evaluation
