

워터젯을 이용한 노면표시 제거장비의 프로토타입 개발

Development of a Prototype Equipment for Road Stripe Removing Using High Pressure Water-Jet

김 균 태* · 한 재 구** · 권 순 욱***

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

요 약

종래의 깎기식 제거기에 의한 노면표시 제거작업은 인력에 의존하는 단순반복 작업으로 진행된다. 따라서 교통사고, 잔재 제거에 사용되는 프로판 가스의 폭발, 작업자의 건강과 환경에 위해한 먼지와 유해가스 발생 등 위험요소가 상존하고 있다. 이러한 노면표시 제거작업의 문제점은 자동화·로봇화의 잇점으로 작용될 수 있다.

본 연구에서는 초고압수를 이용한 모바일 타입 노면표시 제거장비의 프로토타입을 개발하였다. 그 결과는 다음과 같다. 첫째, 현행 노면표시 제거작업 분석결과 노면표시 제거작업은 a) 작업준비, b) 노면표시제거, c) 현장정리로 구분할 수 있다. 이들 중 b) 노면표시제거작업의 전 공정을 수행할 수 있는 건설기계장비가 필요함을 알 수 있었다. 둘째, 개발장비는 1일 8시간 작업 기준으로 약 1,400m를 작업할 수 있는 것으로 나타났다. 이 값을 기존방식의 작업량과 비교한 결과 280.0%의 생산성 달성 비율을 얻을 수 있는 것으로 분석되었다.

키워드: 초고압수, 노면표시, 건설자동화, 작업분석, 안전

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설산업의 특징 중 하나는, 노동집약적이라는 것이다. 그러나 최근에는 건설산업의 구조가 노동집약적인 구조에서 탈피하여, 생산성을 향상시키는 방향으로 개편되고 있다. 왜냐하면 최근에 건설산업의 수익률이 점차 감소함에 따라, 건설공사 총 비용에서 많은 비중을 차지하는 노동비용을 절감할 필요성이 커지고 있기 때문이다. 또한 불안정한 산업구조와 열악한 노동조건으로 청년층이 기피하는 산업이 되어, 기능인력이 부족하고 점차 고령화되고 있어, 노동집약적인 작업방식을 유지하기도 곤란한 상황이다.

해외 선진국에서는 이러한 변화에 대응하기 위하여, 수 십년 전부터 건설작업의 로봇화 및 자동화에 대한 연구개발을 진행하였다. 왜냐하면 부족한 기능인력을 대체하기 위하여 로봇 기술을 활용하고 작업을 자동화함으로써, 기능인력 부족의 문제점을 해소시킬 수 있기 때문이다. 또한 자동화 방식은 생산성, 안전성과 품질의 향상까지도 가능하다.

한편 도로 노면표시 제거작업 (road stripe removing work) 은 일상적으로 이루어지는 도로의 유지관리 작업들 중 하나로, 도로의 유지보수, 차선 변경 등에서 이와 관련된 공사 물량이 지속적으로 발생하고 있다. 그러나 이러한 노면표시 제거작업은 차선들 중 일부를 막고 차량들이 주행하고 있는 차선의 바로 옆에서 작업하여야 한다는 특성상, 빈번한 안전사고가 발생하고 있다. 또한 전술한 바와 같이 인건비 상승, 노무인력 부족, 기능수준 저하 등에 따라 경제성과 품질 확보에도 어려움이 있는 것으로 지적되고 있다. 그러나 그 시공법은 종래의 공법에서 크게 벗어나지 못하고 있는 실정이다.¹⁾

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

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

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

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

1) 한국건설기술연구원, 초고압수를 이용한 노면표시 자동제거 장비개발, 건설교통부, 한국건설교통기술평가원, 2004

종래의 노면표시 제거작업은 단순반복 작업이 많고, 수작업에 의존하므로 작업자의 능력과 경험에 따라 생산성과 마감 품질의 차이가 발생할 수 있다. 또한 프로판가스 화염 등 위험한 재료를 다루게 되어 화재, 폭발 등 많은 위험을 내포하고 있다. 이러한 노면표시 제거작업의 문제점은 자동화·로봇화의 잇점으로 작용될 수 있으리라 생각된다. 특히 최근에 발전을 거듭하고 있는 워터젯(초고압수 : water-jet) 기술을 활용하면, 재래식 방법의 가장 큰 문제점인 인력의존성, 비효율성과 위험성을 크게 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 다시 말하면 워터젯 기술을 응용한 자동화 건설기계장비로 도로면에 용착되어 있는 도로를 벗겨냄으로써, 작업의 인력의존도를 낮추고 생산성을 향상시키며 위험성을 감소시킬 수 있을 것이다.

따라서 본 연구의 목적은 워터젯 기술을 이용한 노면표시 제거장비의 프로토타입 모델을 개발하는 것이다. 이를 위하여 개발장비의 구성요소를 파악하고, 파악된 구성요소들을 각각 설계·제작·실험하여 성능을 검토하며, 이들 구성요소들을 결합하여 프로토타입 모델을 개발하고자 한다. 또한 개발된 건설기계장비를 실제 도로현장에서 성능실험을 함으로써 실용화 가능성과 생산성을 평가하고자 한다.

1.2 연구방법 및 내용

본 연구는 다음과 같은 방법으로 수행되었다.

첫째, 문헌조사 및 현장조사 등을 통하여 관련기술의 동향을 파악한다.

둘째, 개발장비의 성능조건을 도출하여 장비개념을 정립하고, 이를 바탕으로 하여 장비개발에 필요한 주요 구성요소를 도출한다.

셋째, 주요 구성요소별 설계사양을 도출하여, 제작하고, 성능을 실험한다.

넷째, 전체 시스템을 설계하고 구성요소들을 결합하여 프로토타입을 제작한다.

다섯째, 제작된 프로토타입을 대상으로 성능실험 및 현장실험을 실시하고 생산성을 분석한다.

2. 국내외 기술동향

본 장에서는 기존 노면표시 제거작업의 공정, 투입인원, 재래식 노면표시 제거장비 등 현황을 고찰한다. 또한 국내외의 워터젯 기술의 건설부문에 응용 사례를 고찰하고, 노면표시 제거 부문에서 이러한 워터젯 기술을 응용한 사례를 조사하도록 한다.

2.1 기존의 노면표시 제거작업 분석

2.1.1 노면표시 제거작업

본 연구에서는 우선 재래식 작업의 현황과 문제점을 파악하기 위하여, 현행 노면표시 제거작업 현장을 방문하여 제거 작업을 관찰하였다. 또한 관찰결과를 토대로 하여 현장 작업공정을 분석하였다. 그리고 이러한 현장작업 분석을 통하여 노면표시 제거작업의 표준작업 공정을 도출하였다.

기존 노면표시 제거 작업은 현장여건에 따라 다르나 깎기식 제거기 운전원 1인, 청소 및 안전시설 설치원 2~3인, 프로판가스 화염 작업원 1인, 바닥 마무리 작업원 1인 등 일반적으로 5~6명의 작업자에 의해 이루어진다. 그리고 이러한 노면표시 제거 작업은 a)작업준비, b)노면표시제거, c)현장정리의 3개 공정으로 분류할 수 있다(그림 1 참조). 이 중 b) 노면표시제거 공정을 세분화하면 ㉓ 안전시설물 배치, ㉔ 깎기식 제거기를 이용한 노면표시제거, ㉕ 노면청소, ㉖ 프로판가스 화염으로 가열, ㉗ 바닥마무리(잔흔적 제거), ㉘ 이동의 6개의 세부작업으로 분류할 수 있다.

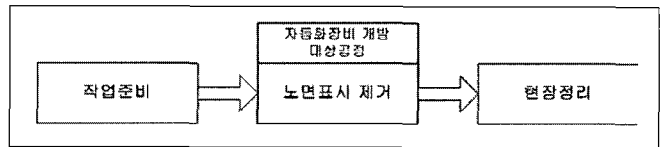


그림 1. 현행 노면표시 제거작업 프로세스

기존 노면표시제거 작업은 전술한 바와 같이, 작업자가 깎기식 제거기를 도로상의 표시에 따라 이동시키면서 이루어지며(그림 2 (a) 참조), 그 뒤를 따라서 청소작업이 이루어지고, 그 다음으로 프로판가스 가열 및 바닥 마무리 작업(그림 2 (b) 참조)이 진행된다. 다시 말하면 각각의 세부 작업들은 서로 다른 위치에서 선행작업을 쫓아가면서 동시에 이루어지게 된다는 것이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 점을 고려하여 작업속도를 측정하였다. 즉 단위구간의 시작점에서 차선제거기로 노면표시의 제거를 시작하는 순간을 시작시간으로 측정하고, 이후 단위구간이 끝나는 지점까지 청소와 프로판 가스 가열 및 잔흔적 제거 작업이 완료되는 시점을 작업 완료시간으로 측정하였다.



그림 2. 현행 노면표시 제거작업

본 연구에서는 워크샘플링(work sampling) 기법을 이용하여 단위작업구간의 작업물량 (길이 또는 면적) 대비 노면표시제거 시간을 측정하고 이를 1일 작업시간(8시간)에 제거가 가능한 총 제거면적으로 환산하였다. 기존방식으로 작업할 때 폭 15cm의 노견선에 대하여 분당 평균 작업거리는 약 1m이며, 1일에 약 500m를 작업할 수 있다(표 1 참조).

또한 작업원을 대상으로 한 설문 및 면담조사결과 작업 중 교통사고를 경험한 경우가 전체 응답자의 54.5%에 이르는 등 사고 위험이 큰 것으로 나타났다. 그리고 작업원들은 고령화, 신규 기능인력 유입부족 및 기능저하로 인한 품질수준 저하를 인력운용상 가장 큰 문제점으로 지적하였다. 이러한 조사결과 노면표시제거 작업에 대한 자동화장비 개발이 시급함을 알 수 있다. 현장분석의 결과는 장비개발시의 요구성능 결정, 개발될 프로토타입의 주요 구성요소, 개발장비의 개념도 등의 도출을 위한 기초 자료가 되었다.

표 1. 현행 노면표시 제거작업 시간측정 결과

작업 횟수	제거대상(폭15cm)		작업소요 시간(분)	1분당 제거길이(m)	1분당 제거면적(㎡)
	길이(m)	면적(㎡)			
1	143	21.50	124	1.15	0.17
2	60	9.00	57	1.04	0.16
3	555	83.25	561	0.99	0.15
평균				1.06	0.16
1일 평균 제거				509.7m/day	76.3㎡/day

2.1.2 깎기식 차선제거기의 기술동향

전술한 바와 같이, 현재 국내의 노면표시 제거 작업은 깎기식 차선제거기로 1차 제거작업 후 2차 제거작업에는 대부분 프로판 가스의 화염을 이용하고 있다. 깎기식 제거기는 비트로 아스팔트를 얇게 깨서 깎아내는 방식을 사용하며, 이때 발생한 잔재는 빗자루로 쓸어서 삽으로 포대에 담아서 버린다. 이러한 방식의 제거기는 과적차량 운행 등으로 아스콘이 침하되는 등 노면이 불규칙한 곳에서는 작업이 곤란하다. 또한 비트에서 많은 열이 발생하여 과열되기 쉬우므로, 수시로 제거기를 식혀주어야 한다. 따라서 제거기의 냉각을 위한 시간손실이 많이 발생하게 된다. 또한 이 제거기는 날씨의 영향을 많이 받는데, 제거기의 냉각을 위한 시간은 날씨가 따뜻할수록 증가하게 되며, 5~6월 이후부터는 아스콘이 물러져서 깎이지 않고 뭉개지므로 깎기식 제거기로는 작업 자체를 수행할 수 없다. 그림 3은 현재 국내에서 주로 사용되고 있는 깎기식 노면표시제거기로 작업시 불량이 발생하는 예를 보여준다.

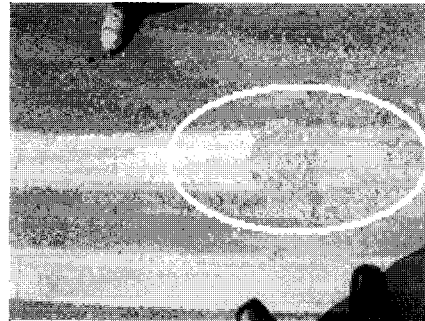


그림 3. 깎기식 제거기의 작업불량

2.2 워터젯 기술의 응용 동향

워터젯 기술은 건설분야에서 다양하게 적용되고 있는데, 그 대표적인 내용을 기술하면 다음과 같다.

2.2.1 암반 가공

워터젯을 이용한 암반가공이란, 고압의 물과 마모재를 혼합하여 고압으로 분사함으로써, 암반을 원하는 형상으로 가공해 내는 기술이다. 이러한 기술은 국외에서 다양한 장비로 개발되어 있으며, 국내에서도 암반을 절개하는 수준에서 이 기술이 적용되고 있다. 그림 4는 워터젯을 이용한 암반가공장비의 예이다.

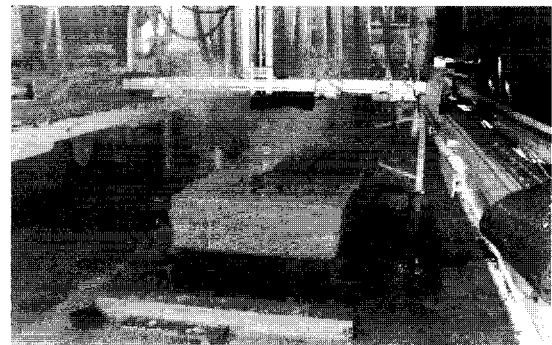
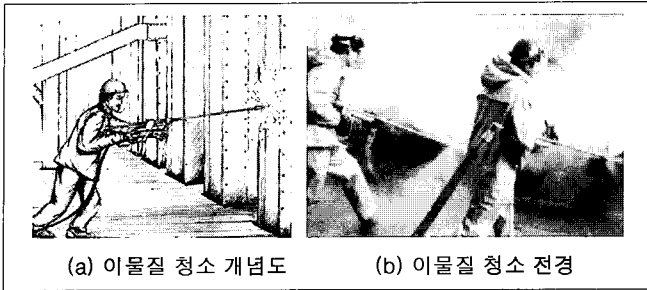


그림 4. 암반가공 장비

2.2.2 철 구조물 청소

철 구조물을 콘크리트 등으로 피복하거나 일체화된 구조체를 만들 때에는 철 구조물에 붙어있는 이물질을 깨끗하게 제거하는 것이 중요하다. 그러나 외부 환경에 의해 철 구조물에 이끼, 청태 등의 이물질이 끼게 되면 이를 제거하는 것이 용이하지 않다. 이때 고압의 물을 이용한 세척기술은 작업자가 작업을 원활하고 효과적으로 수행할 수 있도록 해 준다. 그림 5에서 이러한 기술의 개념과 사례를 나타내고 있다.



(a) 이물질 청소 개념도 (b) 이물질 청소 전경

그림 5. 워터젯에 의한 이물질 청소

2.2.3 콘크리트 절개 작업

도로구조물의 노면이나 기타 구조물에서 콘크리트 구조물을 절단하는 경우가 있다. 이러한 작업에서도 워터젯 기술이 적용되고 있다. 이 기술은 도로면이나 콘크리트에 임의의 절단이 필요한 경우 사용하는 것으로, 이 기술을 이용하면 분진이 발생되지 않고 생성된 잔여물을 회수할 수 있어서 깨끗한 작업환경을 유지할 수 있다. 그림 6은 미국 Aqua사에서 개발된 콘크리트 절개장비의 사례이다.

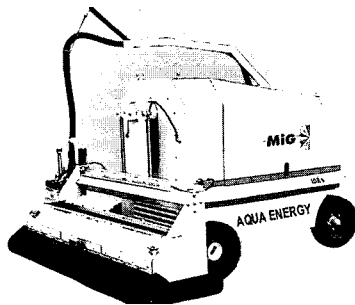
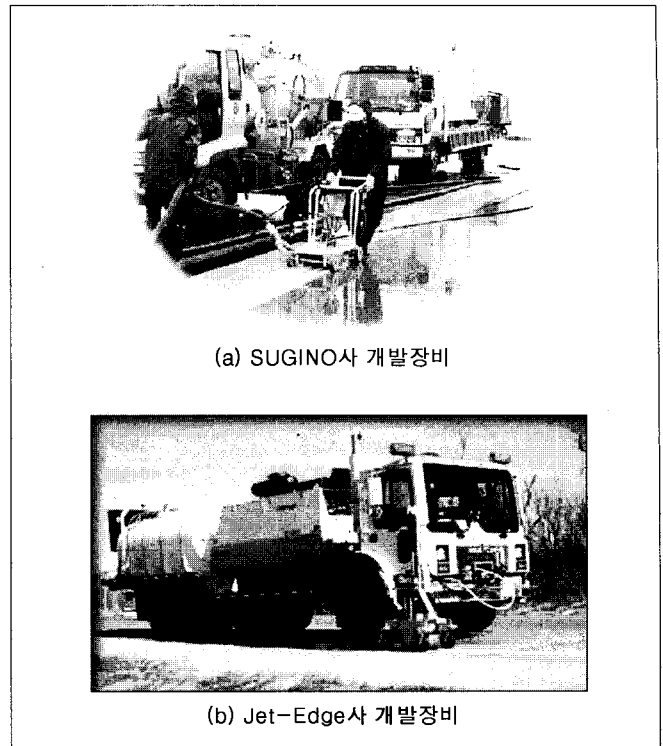


그림 6. 콘크리트 절개장비

2.3 워터젯 기술을 이용한 노면표시 제거 기술

현재 워터젯을 이용한 노면표시 제거장비가 국내에서 개발된 사례는 전무한 실정이다. 따라서 본 절에서는 일본과 미국에서 개발한 장비 등 해외장비를 중심으로 기술개발 동향을 살펴본다.

우선 그림 7 (a)의 일본의 SUGINO사에서 개발한 장비이고 그림 7 (b)는 미국의 Jet-Edge사에서 개발한 장비이다. 이 장비들은 바닥 청소장치(floor cleaner)를 노면표시 제거에 적용한 것으로, 노면표시 제거에 필요한 여러 유닛들을 하나의 차량에 실을 수 있도록 모바일 시스템(mobile system)으로 구성되어 있다. 그러나 장비의 전체적인 규모가 매우 커 좁고, 복잡한 국내의 도로현실에는 맞지 않을 걸로 판단된다. 다만 모바일 시스템으로 구성하여 이동의 용이성과 작업의 편의성을 증진시키려 했다는 점은 본 연구개발에서도 참고해야 할 것으로 생각된다.



(a) SUGINO사 개발장비

(b) Jet-Edge사 개발장비

그림 7. 노면표시제거시의 워터젯 적용 사례

3. 장비개발을 위한 주요 구성요소 분석

본 장에서는 개발장비의 성능조건을 도출하여 장비개념을 정립하고, 이를 바탕으로 하여 개발장비의 각 구성요소(component)를 분석한다. 그리고 분석결과를 바탕으로 하여 구성요소들을 각각 설계·제작하고 성능실험을 함으로써, 프로토타입 구축을 위한 기초를 마련한다.

3.1 개발장비의 성능조건 도출

초고압수를 이용하여 노후화된 노면표시를 제거할 수 있는 장비를 개발하기 위해서는 우선 장비개발시 요구되는 고려요소의 규명과 아울러 장비개발에 따른 성능조건의 규명이 필요하다. 이러한 고려사항 및 성능조건을 밝혀냄으로써 개발하고자 하는 장비의 성능범위를 명확히 할 수 있으며 장비 개발에 영향을 미칠 수 있는 다양한 고려사항을 미리 검토함으로써 예측 가능한 문제점을 제거하는 데 도움을 줄 수 있다. 본 연구에서는 그림 8과 같은 내용과 절차에 따라 노면표시 제거장비의 고려요소와 성능조건을 규명하였다. 이렇게 규명된 고려요소 및 성능조건을 정리하면 표 2와 같다.

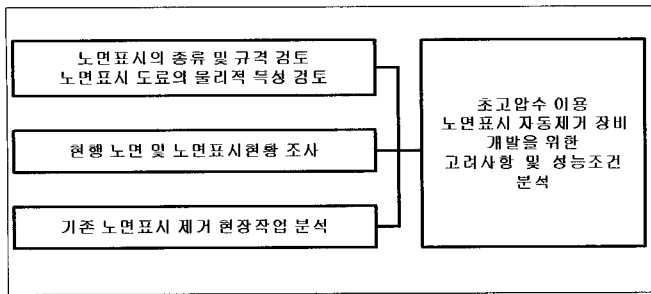


그림 8. 노면표시제거장비의 고려요소 및 성능조건 규명 절차

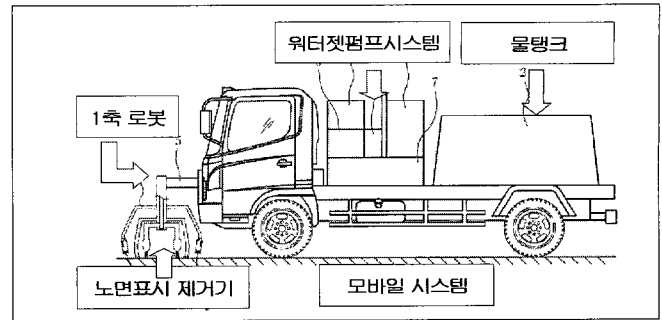


그림 9. 개발 시스템의 구성도

3.2 시스템 개념

개발장비의 기본개념은 증압기(intensifier)에 의해 고압으로 증압된 물을 노즐을 통해 분사시켜 노면표시를 제거하는 것이다. 그리고 분사된 물과 잔재를 자동으로 회수함으로써 환경친화적인 작업을 유도하고자 한다. 따라서 개발장비는 기본적으로 a) 고압수를 분사시키는 워터젯 시스템, b) 넓은 범위를 신속히 제거하기 위한 회전형 멀티노즐(rotary multi-nozzle) 시스템, c) 제거범위를 확장 하기위한 요동 액추에이터(sweeping actuator), d) 제거작업 후 발생하는 각종 폐기물을 회수할 수 있는 회수장치(suction system), e) 작업상황을 감시할 수 있는 모니터링 시스템(monitoring system)의 5개 구성 요소가 필요하다. 이러한 시스템은 도로상에서 움직이며 작업을 수행하여야 하므로 이동 차량에 탑재할 수 있는 모바일 시스템이어야 한다. 이러한 구성요소를 시스템화 한 개념도는 그림 9와 같다.

표 2. 노면표시제거장비의 고려요소 및 성능조건

고려요소		성능조건
노면표시 특성에 따른 기술적 고려요소	노면표시의 종류	- 노면표시의 종류를 고려하여 동작범위 및 제거방향, 제거 속도, 노즐의 분사방법, 노즐의 배치 등을 결정 ▷ 선(직선·점선) : 가로방향·세로방향·사선방향 운동 필요
	노면표시의 폭	- 가장 보편적인 폭(15cm)을 중심으로 여유 폭을 가질 수 있도록 설계 : 노즐의 분사방법 및 운동방식 결정, 노즐의 배치 결정
	노면표시의 물리적 특성	- 움푹식 노면표시의 두께 및 점착력을 고려하여 아스팔트의 손상을 최소화 할 수 있는 범위에서 초고압수의 압력 및 분사높이, 연마재 결정
아스팔트 특성에 따른 기술적 고려요소	아스팔트의 강도	- 아스팔트의 손상을 최소화 할 수 있는 초고압수의 압력, 분사각 및 분사높이 결정
현장조사 및 요소기술 분석을 통한 기술적 고려요소	노면 상황	- 도로 노면의 구배·불규칙한 노면을 고려한 제거방법 모색
	작업의 효율성	- 운전원 및 기타 작업자의 수 최소화 : 모바일 운전과 자동화 장비 컨트롤이 용이하도록 효과적인 컨트롤 방식 채택, CCTV 등을 이용하여 노면표시 현황 및 제거상황 판단
	폐기물 처리	- 효과적인 폐기물 처리

3.3 개발 시스템의 구성요소

3.3.1 워터젯펌프 시스템 설계 및 제작

고압 워터펌프 설계시 우선적으로 고려해야 할 기준은 최고 분사압이다. 본 연구에서는 예측되지 못한 노면 사정, 다양한 도로 종류, 덧칠 등과 같은 다양한 현장요소를 고려하여 최고 토출 압력은 3,000 bar로 설정한다. 그리고 현장 상태에 따라 분사압을 조절할 수 있도록 한다.

워터젯 시스템은 워터펌프 구동과 증압기에 1차 압력 공급을 위한 유압 파워 유닛(hydraulic power unit), 흡입과 토출측의 유량 흐름을 단속해주는 체크밸브(check valve)와 물을 초고압으로 압축하기 위한 복동식 왕복운동형 증압기(intensifier)로 구성된 워터펌프, 요동 액추에이터 장착되어 초고압 수를 분사하는 노즐, 노즐에 안정적인 초고압 수를 공급할 수 있도록 토출 압력 맥동을 감소시키기 위한 축압기(accumulator)로 구성되어 있다. 그림 10 (a)는 노면표시 제거용 워터젯 시스템의 개략설계 도이고, 그림 10 (b)는 제작한 워터젯 시스템을 나타내고 있다.

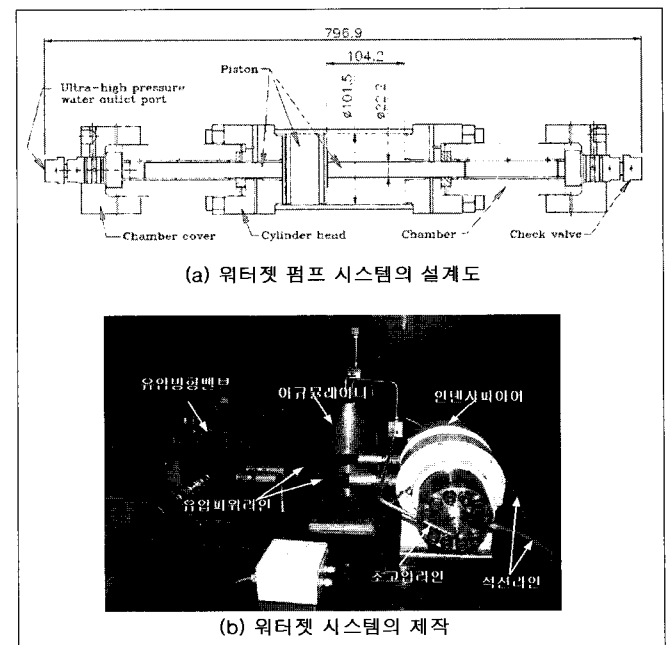


그림 10. 워터젯 시스템의 설계 및 제작

증압기(intensifier)의 구동원리에 따라 토출되는 물의 양은 식(1)과 같다.

$$Q_w = A_w \cdot St \cdot Fhz \quad \text{식(1)}$$

여기서 Q_w : 고압수 토출량[l /min]

A_w : 고압수 플런저의 단면적[mm²]

St : 플런저의 왕복 거리(stroke) [mm]

Fhz : 플런저의 왕복 주기(frequency) [Hz]

는 증압기의 수압 발생부분 피스톤 지름을 이용하여 계산 가능하고, 는 증압기 내에서 피스톤이 왕복운동을 하는 거리의 설계치수이고, 는 피스톤이 실린더 내부에서 분당 왕복운동하는 횟수를 근접센서(proximity sensor)에 의해 측정하였다. 따라서 토출 유량은 식(2)와 같고, 토출유량을 조절하려면 운전석에 설치된 조작박스를 이용하여 피스톤의 왕복 횟수를 조절하면 된다. 그림 11은 제작된 증압기이다.

$$Q_w = 387 \cdot 85 \cdot 31 = 1019745 \text{mm}^3/\text{min} \approx 1 \text{l} / \text{min} \quad \text{식(2)}$$

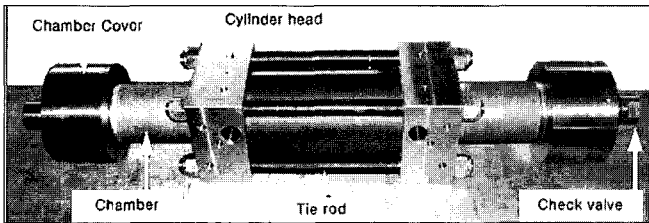


그림 11. 증압기의 제작

3.3.2 회전형 멀티노즐

본 연구에서는 노면표시제거의 범위와 속도를 높이기 위하여 회전형 멀티노즐을 설계하였다. 회전형 멀티노즐이란, 노즐 출구 부분에 홀(hole)을 2개 이상 형성하여 각각의 분사각이 일정각도를 가지며, 회전 운동까지 같이 겸하면서 분사되는 것이다. 노즐 헤드를 멀티노즐로 구성하면 따라서 이 노즐을 사용하면 1홀 노즐을 사용할 때보다 작업속도가 향상될 수 있다. 하지만 이 정도의 제거 성능을 가진 멀티노즐로 폭 150mm 정도의 노면표시를 빈틈없이 제거하면서 진행하기 위해서는, 제거 진행속도를 정확하게 제어해야 하는 단점이 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하는 방법으로 회전형 멀티노즐을 제안하였다. 회전형 멀티노즐이란 원주방향의 길이(지름)를 줄인 회전형 2홀 노즐 여러 개를 1세트로 배열하는 것이다.

그림 12 (a)는 멀티노즐의 개략설계도이고, 그림 12 (b)는 제작된 멀티노즐이다. 그리고 그림 12 (c)는 회전형 멀티노즐의 궤적을 나타낸 것이다.

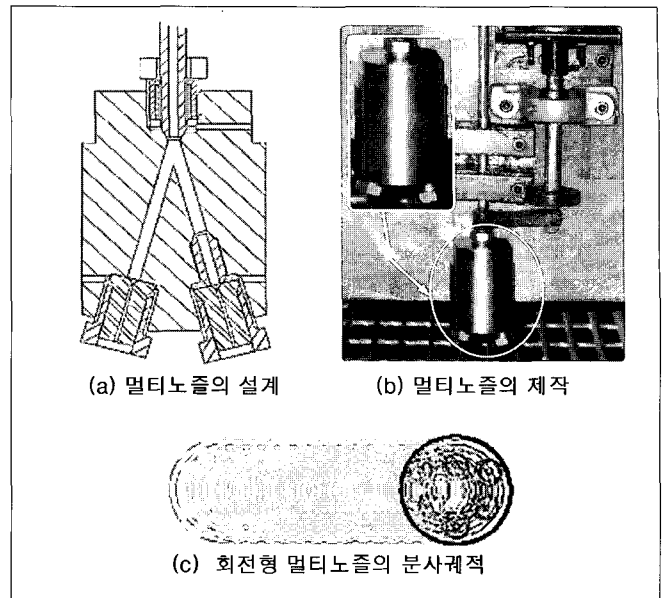


그림 12. 회전형 멀티노즐의 설계·제작 및 분사궤적

회전형 멀티노즐의 성능을 시험하기 위해 1축 이송 장치를 제작하여 노즐을 회전시킨 상태에서 시험편을 이송시켜 현장실험에 앞서 회전형 노즐의 성능을 확인하였다. 이에 대한 실험조건을 요약하면 표 3와 같다.

표 3. 회전형 멀티노즐의 실험조건

변수	조건	비고
분사높이	40 mm	노즐과 지면 사이의 거리
분사각도	60°	회전형 노즐의 분사각도
분사압력	1,500~2,000 bar	100 bar씩 증가
실험노즐	분사구 직경 0.2mm의 회전형 노즐	a) 2개 노즐 개방 b) 3개 노즐 개방 c) 6개 노즐 개방
회전속도	150~550 rpm	100rpm씩 증가
이송속도	50~650 mm/sec	150 mm/sec씩 증가

그림 13은 회전용 멀티노즐을 회전시키면서 한쪽 방향으로 진행하도록 하면서 노면표시의 제거성능을 실험하는 장면이다. 이 그림을 보면 초고압수 분사 궤적에 따라 노면 표시가 제거됨을 알 수 있다. 또 그림 13의 우측 상단에 노즐 회전속도와 시편 이송 속도를 적절히 조절하여 노면표시를 제거한 시편을 나타내었다.

3.3.3 요동 액추에이터

증압기에서 발생된 초고압수는 고정형 초고압 배관을 따라 축압기(accumulator)로 가서 맥동 현상이 저감된 후, 다시 초고압 배관을 따라 차량 앞단의 노즐에 이르게 된다. 노즐까지 도착한

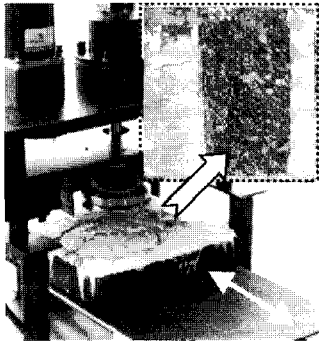


그림 13. 회전형 멀티노즐의 실험 전경

초고압수는 운전자의 조작을 통해 제거되어야 할 목표지점인 노면표시로 분사된다. 이때 운전자가 차량의 운전만으로는 노즐을 노면 표시에 정확하게 위치시키기 어려울 수 있다. 따라서 차량과 노즐 사이에 요동 액추에이터(sweeping actuator)를 설치하였다.

요동 액추에이터란, 운전자가 차량을 운전하여 회전형 노즐을 노면 표시에 정렬시키는 것이 어려울 경우, 운전석에서 간단한 레버 조작만으로 신속하게 회전형 노즐을 목표지점에 위치시킬 수 있도록 하여주는 장치이다. 그림 14 (a)은 요동 액추에이터와 요동 액추에이터에 부착되어 작동되는 회전형 멀티노즐의 개념을 설계한 것이다.

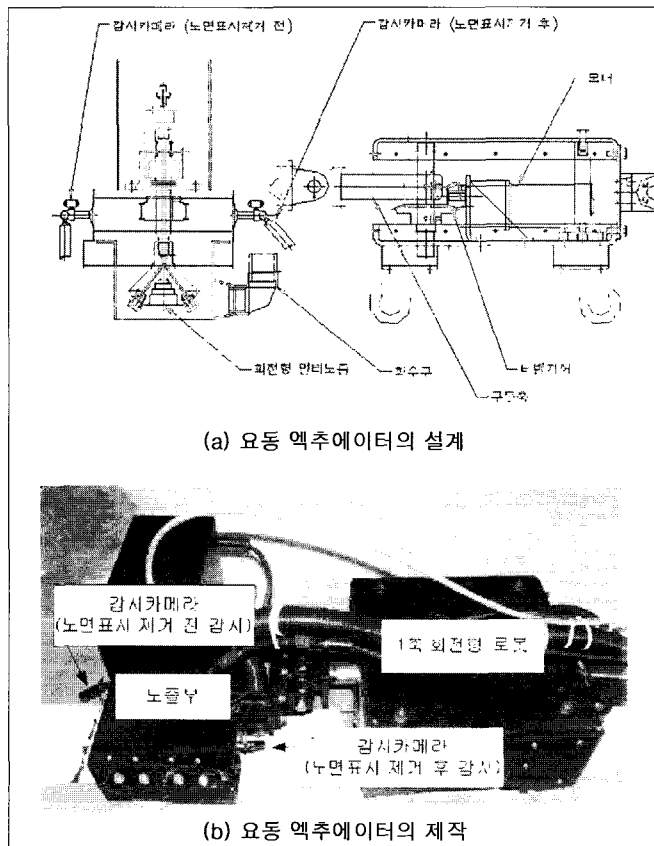


그림 14. 요동 액추에이터의 설계 및 제작

요동 액추에이터는 DC 기어드 모터(DC geared motor)를 이용해 베벨 기어를 구동하도록 메커니즘을 구성하였다. 이 액추에이터는 좌우 각각 30°씩 요동 할 수 있도록 설계하였다. DC 기어드 모터의 회전속도는 0 ~ 100 rpm의 범위내에서 자유롭게 조작될 수 있다. 또한 유압 구동 방식이 아닌, 기계적인 링크 구조로 이루어져 운전자의 레버 조작에 즉각 응답할 수 있도록 하였다.

그림 14 (b)는 요동 액추에이터와 회전 노즐이 조립된 사진이다. 이 장치를 차량 앞 부분에 설치함으로써, 운전자는 원하는 위치로 회전 노즐을 움직일 수 있다. 이러한 요동 액추에이터는 수시로 움직이게 되므로, 배관을 고정시킬 수 없다. 따라서 차량 앞단에서 노즐까지 연결된 배관은 고정형이 아닌 유연한 형태로 구성하였다.

3.3.4 회수장치

재래식으로 노면표시를 제거할 때에는 작업자가 수작업으로 잔재를 청소하였다. 그러나 본 연구개발에서는 잔재물 회수장치(suction system)를 장착하여 제거와 동시에 자동으로 잔재가 회수되도록 하였다.

잔재물 회수장치로는 건습식 산업용 진공청소기를 부착하여 활용하였다. 회수장치의 흡입구는 회전형 노즐에 인접하게 설치하였다. 또한 흡입구 주위를 차폐함으로써, 잔재물의 비산을 방지하고 흡입능력이 향상될 수 있도록 하였다. 이때 제거된 잔재물과 분사된 물이 함께 흡입되며, 처리장치를 통해 물과 잔재물이 분리된다.

3.3.5 모니터링 시스템

전술한 바와 같이, 본 연구에서는 요동 액추에이터를 개발함으로써, 운전자가 자동차의 운전석에서 노즐위치를 확인·조작하는 데 따른 불편을 해소하였다. 그러나 제거 대상물의 위치를 정확히 확인하고, 제거 대상물이 완전히 제거되었는지 감시하는 것은 여전히 운전자에게 용이하지 않은 작업이다. 이러한 작업을 돕기 위하여 본 연구에서는 회전노즐과 인접한 위치에 감시카메라를 설치하였다(그림 14 (a), (b) 참조). 또 회수장치에도 카메라를 설치하여 노면표시의 제거상태를 확인하고, 회수장치를 통한 부산물 회수상태를 모니터링할 수 있도록 하였다. 운전석에는 이들 카메라와 연결된 모니터를 설치함으로써, 운전자가 제거상황을 실시간 모니터링 할 수 있다.

3.3.6 모바일 유압파워 유닛

엔진을 동력원으로 하는 유압파워 유닛(hydraulic power unit)은 워터펌프를 구동시키고, 중압기에 1차 압력을 공급한다. 유압파워 유닛은 엔진과 유압펌프 등으로 구성되어있으며 진동

방지를 위해 엔진과 유압펌프를 지지하는 프레임 하단에 적용하중 200kgf, 스프링상수 8.0kgf/mm, 변위량 25mm인 방진패드 6개를 설치하여 2차 방진처리를 하였다. 그림 15는 차량탑재를 위해 최소의 공간을 차지하도록 배열된 모바일 유압파워 유닛의 설계도 및 제작결과물이다.

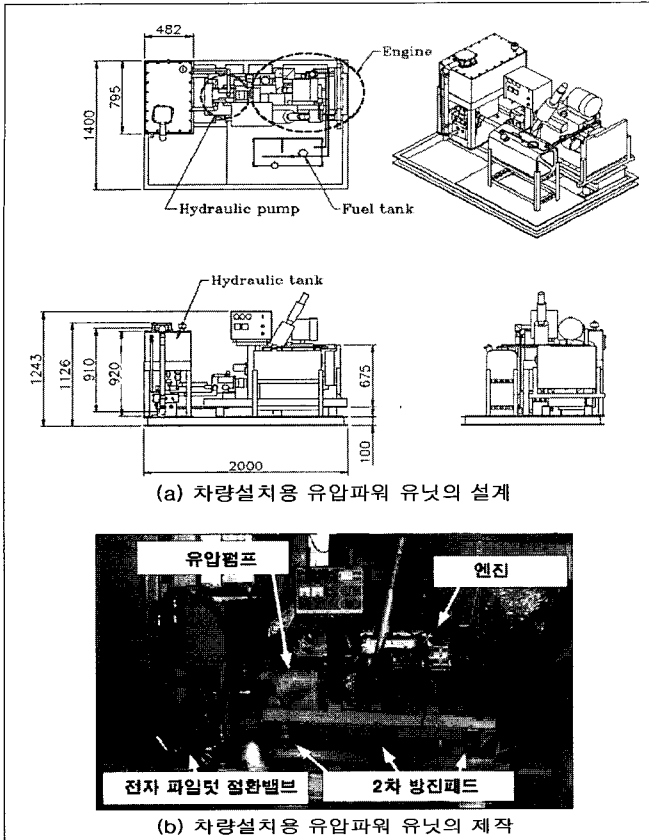


그림 15. 차량설치용 유압파워 유닛의 설계 및 제작

3.3.7 프로토타입 시스템 제작

이들 전체 시스템의 구성요소들에 대한 사양과 제작된 프로토타입은 표 4, 그림 16과 같다.

표 4. 프로토타입 시스템의 사양

구분	사양
엔진	2,600cc, 82hp/4,150rpm
유압펌프	80cc/rev, 1,200rpm
체크밸브	85l/min, 2,500bar
Sol. 밸브	300l/min, 320bar
축압기	1 liter
물탱크	200 liter
필터	100 micron
피팅	4,000bar, SUS316
호스	2,500bar
노즐	0.2mm
모니터	B/W CCD
회수장치	3.2hp, 2,500mmH2O
전기파워	5.2kW
모바일 트럭	3,000cc, 82hp



그림 16. 프로토타입 시스템의 제작

4. 현장실험

본 장에서는 개발장비의 각 구성요소별 성능실험 결과를 토대로 하여 프로토타입을 구축하고, 구축된 프로토타입에 따른 작업 프로세스를 규명한다. 그리고 프로토타입으로 현장 실험을 수행함으로써, 프로토타입의 기술적인 성능을 검토하고 생산성을 분석한다.

4.1 노면표시제거 자동화방식의 작업 프로세스

재래식 노면표시제거 작업은 '노면표시제거→청소→프로판가스가열→잔흔적제거'와 같이 앞의 작업에 뒤이어 다음 작업이 뒤쫓아 진행되는 순차적 작업프로세스를 가지고 있다. 이에 반해 자동화 방식의 경우 노면표시제거에 필요한 물의 압력을 높이기 위해 워터젯 시스템을 가동시켜 압력을 올리는 단계가 필요하며, 물의 압력이 일정 수준에 도달하게 되면 제거작업을 시작하게 된다. 이때 재래식방식과는 달리 자동화방식은 '노면표시제거, 잔재물회수, 제거상확인' 등의 작업이 동시에 이루어지는 프로세스로 진행된다. 그림 17은 노면표시제거 자동화방식의 작업프로세스 분석을 나타낸 그림이다.

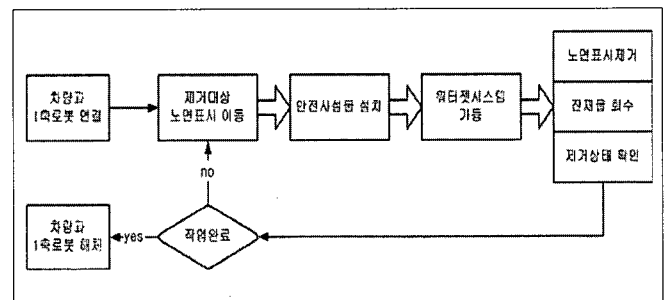


그림 17. 노면표시제거 자동화방식의 작업프로세스

4.2 현장실험

생산성 데이터는 날씨 및 장소, 주변현황 등과 같은 측정 환경이나 기타 여건에 따라 많은 영향을 받는다. 따라서 재래식 방식과 자동화방식의 생산성을 가장 정확하게 측정하기 위해서는 동일한 작업환경 및 여건 하에서 노면표시제거 작업이 수행되도록 한 후 작업량을 측정하여야 한다. 그러나 기존의 재래식 방식과 동일한 작업환경 및 여건을 조성하는데 현실적으로 한계가 있으므로, 본 연구에서는 최대한 유사한 도로환경 및 기타여건을 설정한 후 개발장비를 현장실험 하였다.

실험에 사용된 건설기계장비는 개발장비 이외에는 별도의 건설기계장비가 없으며, 투입된 인원은 운전원 1인 보조원 1인 총 2인이다. 운전원은 개발된 워터젯 시스템을 가동시키며, 개발장비의 운전 및 조정을 담당한다. 보조원은 운전자를 보조하고, 요동액추에이터와 모바일 시스템을 연결·해체시키며, 안전원의 역할을 한다. 이들 모두는 개발장비의 개발과정에 직접 참여한 인원으로, 개발장비의 조작에 숙련된 상태에서 본 실험을 진행하였다.

실험대상 도로는 폭 8m의 일반통행 도로로서 노견선을 제외한 중앙선 및 주행선, 기타 노면표시 선이 없는 곳이다. 따라서 제거대상 노면표시의 종류는 노견선으로, 중앙선과 마찬가지로 연속적인 제거가 가능하였다. 제거 대상 노견선의 길이는 100m, 폭은 15cm로 제거대상 물량의 면적은 15㎡로, 연속된 작업을 수행하므로 개발장비의 성능평가에는 매우 적절할 것으로 판단되었다.

실험 과정은, 개발장비의 전체 시스템을 점검한 후, 제거대상 노면표시인 노견선으로 개발장비를 이동하여 멀티노즐을 노면표시 위에 위치시켰다. 그리고 워터젯 시스템을 가동하여 제거에 적합한 압력이 되기까지 대기하였다가, 적절한 압력에 도달한 후 노면표시를 제거하기 시작하였다. 이와 같은 실험을 총 100m에 걸쳐 실시하고, 개발장비의 작업량을 측정하였다. 이와 같은 실험 결과, 제작된 장비를 이용하여 노면표시를 제거할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 육안으로 제거된 상태를 확인한 결과, 그림 18과 같이 제거면의 품질 역시 양호함을 알 수 있다.²⁾

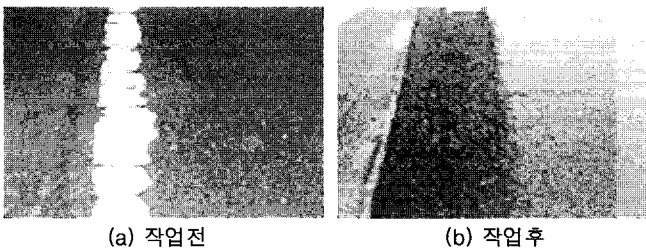


그림 18. 현장실험 결과

개발장비를 이용하여 노면표시를 제거하면서 생산성 평가를 위하여 작업량과 시간을 측정한 결과는 표 5와 같다. 이 표를 보면 총 100m, 폭 15cm의 차선에 대한 작업거리는 1분당 약 3m로 1일에 약 1,400m를 작업할 수 있는 것으로 나타났다.

표 5. 개발장비에 의한 노면제거 작업 실험결과

작업 종류	제거대상(폭15cm)			제거길이	제거면적
	길이(m)	면적(㎡)	소요시간(분)		
개발 장비	100	15	33.7	2.97m/min	0.45㎡/min
	1일 평균 제거			1,427.1m/day	214.1㎡/day

4.3 개발장비의 생산성 분석

본 연구에서는 개발된 장비의 일일작업량과 기존 방식을 이용할 경우에 대한 일일작업량을 비교함으로써, 개발장비의 생산성을 분석하였다. 기존 노면표시제거 작업방식의 작업속도와 개발장비에 의한 작업속도를 비교하면 표 6과 같다. 측정 결과를 토대로 생산성 달성 비율(productivity achievement ratio)을 산출하면 다음과 같다.

생산성 달성비율
 = 개발장비 방식의 생산성/기존방식의 생산성
 = (1,427.1 / 509.7) × 100 = 280.0%

표 6. 깎기식 제거기와 개발장비의 일일작업량 비교

	깎기식 제거기(A)	개발장비 (B)	차이 (B-A)	생산성 (B/A×100)
제거거리 (m/day)	509.7	1,427.1	917.4	280.0
제거면적 (㎡/day)	76.3	214.1	137.8	

분석 결과, 현재 생산성(actual productivity)대비 획득 가능한 생산성(obtainable productivity)이 280.0%인 것으로 나타났다. 즉 기존 작업방식의 1일(8시간) 작업량인 509.7m의 물량을 개발장비로 제거할 경우, 2시간 51분 36초가 소요되어 결국 5시간 8분 24초의 작업시간 절감효과를 얻을 수 있다는 것을 의미한다.

5. 결론

본 연구의 목적은 워터젯 기술을 이용한 노면표시 제거장비를 개발하여 실험하고 이를 바탕으로 실용화 가능성과 생산성을 평가하는 것으로, 그 결과는 다음과 같다.

2) 한국건설기술연구원, 초고압수를 이용한 노면표시 자동제거 장비개발, 한국건설교통기술평가원, 연구보고서, 2004.

첫째, 현행 노면표시 제거작업 분석결과 노면표시 제거작업은 a) 작업준비, b) 노면표시제거, c) 현장정리로 구분할 수 있다. 이 들중 b) 노면표시제거작업은 모두 위험한 작업환경에서 작업원이 수작업에 크게 의존하여 진행하고 있다. 따라서 b)의 전공정을 수행할 수 있는 건설기계장비가 필요함을 알 수 있었다.

둘째, 개발장비는 a) 워터젯 시스템, b) 회전형 멀티노즐 시스템, c) 요동 엑추에이터, d) 회수장치, e) 모니터링 시스템의 5개 구성 요소가 필요하였다. 또한 개발장비는 도로상에서 움직이면서 작업을 수행하여야 하므로, 이동 가능한 모바일(mobile) 시스템이어야 한다.

셋째, 개발장비는 1일 8시간 작업 기준으로 약 1,400m를 작업할 수 있는 것으로 나타났다. 이 값을 기존방식의 작업량과 비교한 결과 280.0%의 생산성 달성 비율을 얻을 수 있는 것으로 분석되었다.

본 연구에서 개발된 장비는 프로토타입 모델이므로, 향후 상용화를 목표로 성능을 개선하기 위한 추가 연구가 수행되어야 한다. 특히, 현재보다 노면표시 제거 속도를 향상시킬 필요가 있고, 운전자가 개발된 장비를 더욱 쉽게 조작 할 수 있도록 하기 위하여 컨트롤 시스템을 개선하여야 할 것으로 사료된다. 본 연구를 통하여 개발된 워터젯 분사시스템과 제어장치, 노즐과 같은 기술은 향후 토목공사에서 암반 절삭 및 천공에 활용 가능하며, 빌딩 외벽의 표시제거 및 청소에도 널리 활용 될 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. 도로교통법, 행정자치부, 2003
3. 도로공사표준시방서, 건설교통부, 2003
4. 한국건설기술연구원, 초고압수를 이용한 노면표시 자동제거 장비개발, 한국건설교통기술평가원, 연구보고서, 2004.
5. 일본유공압학회신판 유공압 편람(상), pp. 359~363, 1989
6. SUGINO MACHINE LTd. CAT, 'Water Tools & Accessories,' NO. U4201NE, pp 24~25, 2003
7. <http://www.jetedge.com>
8. K. Park, Y. Ham, S. Kwon, K. Kim, J. Han, J. Kim, Development of automatic road marking removing equipment using high pressure water-jet, ISARC2004, pp 165~170, 2004.9
9. Hydraulic Control systems, John Wiley & Sons, Inc., pp 174~270, 2005

논문제출일: 2005.12.20

심사완료일: 2006.10.12

Abstract

Current removing process is labor intensive and time consuming, employing a conventional grinding type manual machine. This manual tasks trigger various dangers such as unexpected traffic accidents or explosions of propane gas used for finalizing removing process, leading to health damage and environment pollution by dusts and noxious gases. Accordingly, it is necessity for the development of new alternative equipment.

In this paper, we have developed a prototype equipment for road stripe removing made up with a high-pressure water-jet system as a mobile type system. The following shows the results. First, an analysis of the current road stripe removal process showed that it can be divided into a) preparation, b) removal and c) ground finishing. It also showed that the b) removal process requires equipment which can cover the whole process. Second, the study compared between the productivity of the developed equipment and conventional methods, and it obtained 280% productivity improvement compared to the conventional equipment.

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