

초고압수를 이용한 노면표시 자동제거 장비개발을 위한 제어시스템 및 노면최적조건에 대한 연구

DEVELOPMENT OF A CONTROL SYSTEM FOR AN AUTOMATIC ROAD SIGN REMOVING EQUIPMENT USING HIGH PRESSURE WATER-JET

권 순 옥* · 김 균 태** · 한 재 구***

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

요 약

Present removal work for road signs has been labor intensive and required times since it has been done manually using shaving type equipment. While traditional process is conducting, there are traffic jams caused by the passing control, and happened unexpected accidents to workers working at dangerous road circumstance. Besides, in current shaving method, there are high potentialities on the air pollution as well as the explosive accident occurred by using a propane gas. So, as an alternative, we have studied to develop the automatic erasing equipment made up with a high pressure water-jet system and automatic control system, mobile system; Water-jet system consists of an intensifier and nozzles to give a high pressure and spray on the sign, and automatic control system is composed of one axis robot using a hydraulic servo actuator controlled by a lever. And as a mobile system, a truck plays an important role for the transport of equipment and the forward movement in a removal process. In this paper, we have analyzed the characteristics of road signs and have investigated current erasing methods in the field. And we have organized and designed automatic erasing equipment, and we have made a basic experiment to find out the optimal spray condition as like the spray distance, spray angle and injection pressure.

키워드 : 건설자동화, 제어 알고리즘, 초고압수, 노면 표시, 작업분석

Keywords: construction automation, control algorithm, high pressure water-jet, road sign, work process analysis

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

도로가 본래의 기능을 다하기 위해서는 지속적으로 유지·관리되어야 하며, 이러한 도로의 유지·관리는 안전하고, 쾌적하고, 편리하면서 효율적으로 이루어져야 한다. 이러한 측면은 도로의 유지·관리작업중 하나인 도로의 노면표시 제거작업 역시 동일하다. 그러나 현재의 노면표시 제거작업은 그렇지 못하고, 많은 작업자가 투입되어 수작업에 크게 의존하여 진행되고 있는 실정이다. 경제·사회적인 측면에서 이러한 수작업은 장시간 교통체증으로 인한 불편과 혼잡비용을 발생시키고 있다. 또한 작업자의 안전측면에서도 주행중인 차량으로 인한 교통사고의 위

험과 노면표시제거를 위해 사용하고 있는 프로판 가스의 폭발위험, 제거중 발생하는 유해한 먼지, 소음 및 가스 등으로 인한 건강상의 위험 등이 상존하고 있는 실정이다.

한편 1960년대 물을 초고압으로 압축하는 장치를 개발함으로써 소재를 절단하는 water-jet cutting 시스템과 소재의 표면을 세척하는 water-jet cleaning 시스템이 발전하게 되었다. 이후 공정의 자동화, 작업의 편이성, 가공의 정밀성을 높여서 전자부품 생산, 자동차 소재 가공공정, 건설분야, 기계/조선 분야 등에 워터젯(초고압수 : water-jet) 응용 기술 활용 범위가 급속히 확장되어 가고 있는 추세이다. 이러한 워터젯 기술의 가장 큰 장점은 대기중 분진의 비산이 적고 작업환경이 양호하며 용도에 따라 자동화하기 쉽다는 것이다.

따라서 본 연구의 목적은 워터젯 기술을 이용한 노면표시 제거 장비를 개발하기 위한 초기단계로서, 장비개발을 위한 주요 고려요소 및 개발장비의 주요 구성요소를 분석한 후 이를 바탕으로 성능조건을 도출하며 거기에 따른 요소기술의 구현 후 실험을 통하여 효과를 검증하는 것이다.

* 일반회원 한국건설기술연구원 선임연구원(swkwon@kict.re.kr),

** 일반회원 한국건설기술연구원 선임연구원

*** 일반회원 한국건설기술연구원 연구원

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

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 다음과 같은 방법으로 수행되었다.

첫째, 국내외 관련 기술개발 동향을 파악한다. 둘째, 도로공사 표준시방서 등 각종 문헌고찰, 노면의 현황관찰 등을 통하여 노면표시의 종류 및 규격, 노면표시 도료의 물리적 특성 등을 조사·분석한다. 셋째, 노면표시 제거작업 현장을 방문하여 기존 작업을 관찰하며 표준작업공정을 정의하고 이를 세부작업으로 분류한다. 넷째, 상기에서 조사된 결과를 바탕으로 고려해야 할 고려요소 및 주요 구성요소를 도출한다. 다섯째, 개발장비의 설계를 위한 성능조건을 규명하고, 여섯째, 개발장비의 제어시스템을 설계하며 노면적적 조건에 대한 실험 및 분석을 한다.

1.3 국내외 관련 기술동향

현재 국내에서 워터젯을 이용한 노면표시 제거용 장비의 개발 사례는 전무한 실정으로 국외 사례를 중심으로 장비의 특징 및 단점을 분석하였다.

(1) 일본(2003): 이동장치를 사용한 바닥청소 시스템

일본의 SUGINO사에서 개발하여 사용하고 있는 장비로써 초고압의 물을 발생하는 초고압펌프시스템, 물탱크 및 회수장치, 물처리장치, 유압유닛 등 크게 4부분으로 구성되어있다. 이 장비는 초고압펌프에서 발생된 수압이 작업자가 손으로 밀고 다니는 바닥 청소장치로 전달되어 작업자가 원하는 제거물을 워터젯을 이용하여 수동으로 지울 수 있도록 고안된 장비이다. 또한 이 장비의 특징은 작업 후 발생한 폐기물을 진공청소기를 통하여 청소 할 수 있도록 고안되었다. <그림 1>은 시스템의 개략도 및 노면표시 제거작업 광경을 보여주고 있다.

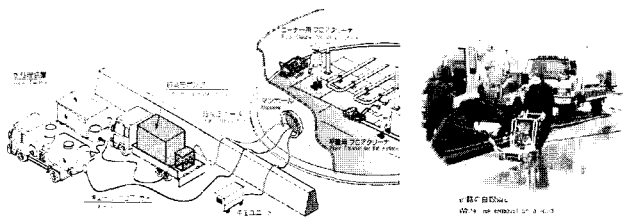


그림 1. 일본 SUGINO사의 노면표시제거 장비

(2) 미국(2004) : 노면표시 제거장비

미국의 Jet-Edge사에서 제작한 노면표시 제거장비는 물탱크 유닛 및 초고압펌프 시스템, 차선제거유닛 등 3개의 부분으로 구성되어있다.(그림 2 참조)

이 장비는 초고압펌프에서 물탱크의 물을 흡입하여 차선제거 유닛으로 공급하며 차선제거 유닛의 노즐을 통과한 고압수가 차선을 지우고, 지우고난 물은 그냥 공기 중 또는 노면으로 분산되

도록 한 장치이다.



그림 2. 미국 Jet-Edge사의 노면표시제거 장비

(3) 국외기술 검토

국외 기술개발 동향을 분석한 결과 일본의 SUGINO사 장비의 경우 전체 시스템이 독립적인 4개의 큰 유닛으로 구분되어 이동 또는 작업시에 작업공간을 많이 차지할 것으로 예측되며 <그림 1>에서 보이는 바와 같이 작업자가 직접 수동으로 장비를 조작함으로써 작업자의 안전에 영향을 미칠 것으로 판단된다. 다만 회수장치 및 수처리 장치가 있어 한번 사용한 물을 회수하여 이를 재처리 후 다시 사용함으로써 친환경적인 시스템 구성하고 있는 것은 본 연구개발에서도 참고해야 할 사항으로 분석되었다.

다음으로 미국 Jet-Edge사의 장비<그림 2>는 노면표시 제거에 필요한 여러 유닛들을 하나의 차량에 구성하였다는 점에서 본 연구에서 개발하고자 하는 장비와 가장 유사한 장비이다. 그러나 장비의 전체적인 규모가 매우 커 국내의 도로현실에는 맞지 않을 걸로 판단되며 아울러 회수장치에 대한 고려가 없어 환경친화적인 측면에서 문제가 있는 것으로 분석되었다.

2. 장비개발을 위한 주요구성요소 분석

2.1 노면표시 현황

우선 국내 도로의 노면표시 종류와 규격에 관하여 도로교통법 [3]과 도로공사 표준시방서[4]를 조사하였다. 그 결과 노면표시의 종류는 매우 다양하며 규격에 있어서 대부분의 폭은 15cm이나 중앙선의 경우 최대 20cm로 규정된 경우도 있어 노면표시 제거기준 폭은 최대치인 20cm를 하되 여유 폭을 가질 수 있도록 설계에 반영해야 할 것으로 분석되었다.

또한 문헌조사 결과를 바탕으로 실제 도로를 실사하여 현황을 관찰하였다. 실사결과 장비를 개발함에 있어서 좁은 작업공간, 작업에 방해될 수 있는 각종 도로시설물, 불규칙한 노면상황 등이 충분히 고려가 되어야 할 것으로 분석되었다.

다음으로 노면표시에 사용되고 있는 도료의 종류에는 용착식, 상온형, 가열형 도료가 있으며 이중 가장 많이 사용되고 있는 도료는 용착식 도료인 것으로 조사되었다. 이에 본 연구에서는 효

올적인 연구진행을 위하여 실험대상 도로를 응착식 도로로 한정 하였다.

2.2 노면표시제거 현장작업 분석

장비를 개발하는데 있어서 다양한 고려요소 및 주요 요소기술을 도출하기 위해서는 우선 기존 작업의 관찰과 분석이 필요하다. 또한 향후 장비가 개발된 이후 생산성 및 품질 등 기존 공법과 새 공법과의 성능비교를 위해서도 기존 현장작업의 관찰 및 분석은 중요하다. 따라서 본 연구에서는 현행 노면표시 제거작업 현장을 방문하여 제거 작업에 대한 관찰과 작업분석을 실시 하였다. 이러한 현장작업 분석을 통하여 재래식 작업의 실태를 파악하고 이를 바탕으로 노면표시 제거작업의 표준작업 공정을 도출하였다.

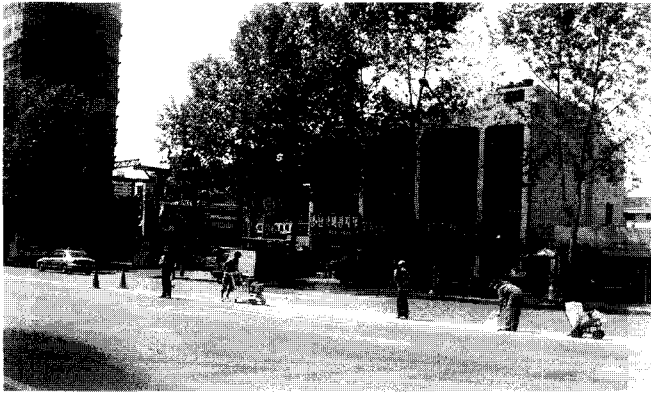


그림 3. 노면표시제거작업 현장광경

노면표시 제거작업 현장방문 조사 결과를 바탕으로 도출한 작업공정 분석은 다음과 같다.

기존 노면표시 제거작업을 분류하면 작업준비, 노면표시제거, 현장정리의 3개 공정으로 분류할 수 있다. 이 중 노면표시제거 공정을 세분화하면 안전시설물배치, 깎기식제거기를 이용한 노면표시제거, 노면청소, 프로판가스 가열, 바닥마무리, 이동으로 분류 할 수 있으며 이 6개의 작업이 반복적으로 수행되고 있었다. (그림 3참조)

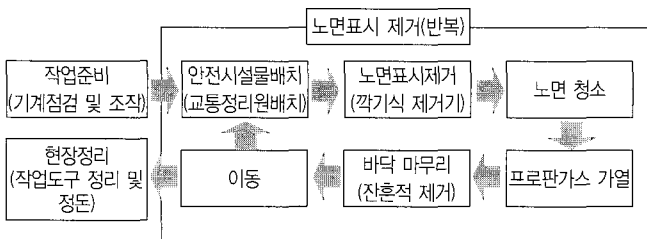


그림 4. 노면표시제거 세부작업

현장작업 관찰과 작업자와의 인터뷰 등을 통하여 조사한 결과

는 다음과 같다.

첫째, 깎기식 제거기는 하루 평균 2-3회 정도의 잦은 고장이 발생하고 있으며 또한 날씨가 더워지는 하절기에는 아스팔트가 녹아 잘 깎이지 않고 뭉치므로, 노면표시를 제거하는 데 있어서 깎기식 제거기에 과부하를 유발, 잦은 고장의 원인이 되고 있다. 둘째, 노면표시 제거작업 구간의 차량 소통과 작업시 사용되는 프로판 가스 등은 작업자의 안전을 크게 위협하는 요소로 작용하고 있었다. 셋째, 노면표시 제거시 다량의 아스팔트 및 도로의 잔재가 발생하고, 소음과 분진이 발생하며 이는 민원의 원인이 되고 있다. 상기의 조사 결과는 장비개발 시 고려해야 할 요소 및 그에 따른 개발장비의 주요 구성요소를 도출하기 위한 기초 자료가 되었다.

2.3 개발장비의 주요 요소

본 연구에서는 노면표시의 특성과 아스팔트의 특성, 현장조사 등을 고려한 기술적 고려요소들을 도출하였으며 이를 바탕으로 개발장비의 구성에 관한 구체적인 요소들을 도출하였다. 우선 개발장비는 고압의 물을 발생하고 분사하며 노면표시를 제거하는 워터젯 시스템과 이를 x축 방향으로 이동시키는 1축 로봇시스템(y축 방향은 차량이 이동), 제거작업 후 발생하는 각종 폐기물을 회수할 수 있는 회수장치, 작업상황을 감시·감지하고 개발장비를 제어·조작하는 기능의 사용자 인터페이스를 위한 제어용 레버시스템, 상기의 제작된 장비를 이동 차량에 탑재하기 위한 모바일시스템으로 구성 요소를 도출하였다. 작업상황의 감시 및 감지는 1축 로봇에는 부착된 카메라를 통하여 운영자가 감지 할 수 있도록 하였으며 야간작업 발생시 사용할 수 있도록 조명을 부착하였다. 이렇게 도출된 구성요소를 바탕으로 본 연구에서 개발할 장비의 개념도를 도출하면 다음 <그림 5>와 같다.

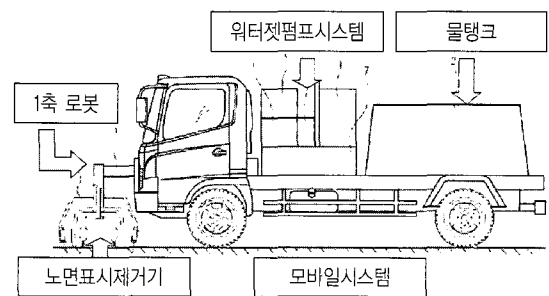


그림 5. 개발장비 개념도

3. 개발 장비 설계 성능 조건

고압수를 발생시키는 워터젯 시스템, 물을 원하는 위치에 분사하도록 결정하는 1축 로봇 시스템, 제어용 레버시스템 등 각

구성 유닛별 설계 사양 및 설계기준을 검토하면 다음과 같다.

3.1 워터젯 시스템

초고압수 분사시스템은 물을 초고압(ultra-high pressure: 1,000 bar 이상)으로 압축하고, 물의 정지 에너지를 운동에너지로 변환하기 위해 노즐(nozzle)을 통해 음속에 가까운 속도로 분사시켜서, 좁은 면적에 집중되는 힘을 활용하는 장치를 의미한다. 따라서 초고압수 분사시스템은 크게 초고압을 발생하는 장치, 초고압으로 압축된 물을 분사하는 장치로 구성된다.

본 연구에서 설계·제작할 초고압수 분사시스템은 도로 노면 표시 제거를 위해 최대 3,000 bar의 초고압 수를 분사하는 장치로서 초고압을 발생하는 장치로 유압 구동식 워터펌프를 사용하고, 분사 장치로는 1홀(hole) 또는 2홀 노즐이 적용되었다. 먼저 고압 워터펌프를 설계시 우선적으로 고려해야 할 기준은 최고 분사압으로, 예측되지 못한 노면 사정, 도로 종류, 덧칠과 같은 다양한 현장요소를 고려하여 3,000 bar 정도로 설정하여야 한다.

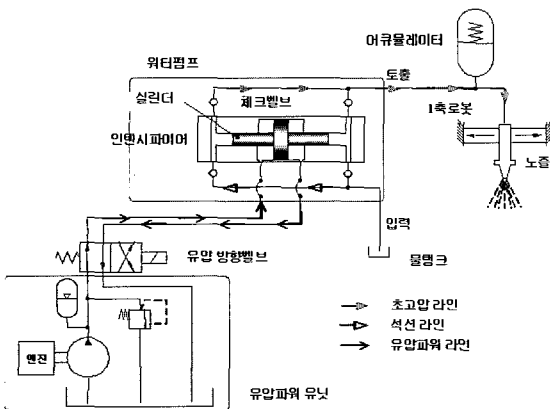


그림 6. 워터젯 시스템

현장 상태에 맞는 분사조건을 찾는다는 것은 직접 분사를 통해 분사압을 조절해가는 것으로 가능할 것이다. <그림 6>은 노면표시 제거용 워터젯 시스템의 회로도이다.



그림 7. 워터젯 시스템 구성

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)[5]로 구성된 워터펌프, 1축 로봇에 장착되어 초고압 수를 분사하는 노즐, 노즐에 안정적인 초고압 수를 공급할 수 있도록 토출압력 맥동을 감소시키기 위한 축압기(accumulator)로 구성되어 있다. <그림 7>은 제작한 워터젯 시스템을 나타내고 있다.

3.2 축로봇

1축 로봇 시스템은 유압 서보 밸브에 입력되는 신호에 비례하여 공급되는 유량에 의해 작동되며, 위치 결정과 제어를 위한 센서로 LVDT(Linear Variable Differential Transformer)를 내장된 유압 서보 액추에이터(cylinder)를 의미하며[6], 산업용 컴퓨터를 이용하여 데이터의 입출력이 가능한 시스템이다. 1축 로봇시스템의 목표 설계 사양은 구동 속도 400 mm/sec, 반복 정밀도 0.1mm 내이며, 하중이 약 20 kgf 장착된 상태에서 정밀제어가 가능한 시스템이다

<그림 8>은 1축 로봇 시스템의 구성을 나타내고 있다.

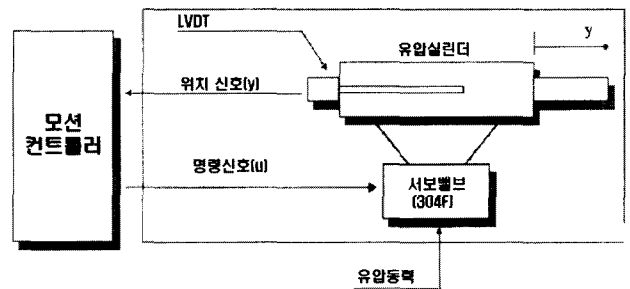


그림 8. 1축 로봇 시스템의 구성도

3.3 제어용 레버 시스템

1축 로봇 시스템과 연계하여 운전자가 간단한 레버 조작에 의해서 원하는 위치까지 분사 노즐을 이동시키기 위해서는 제어용 레버 시스템이 요구된다. 이러한 레버 시스템은 1축 로봇 시스템 즉, 유압 서보 액추에이터의 방향을 결정짓는 요소인 유압 서보

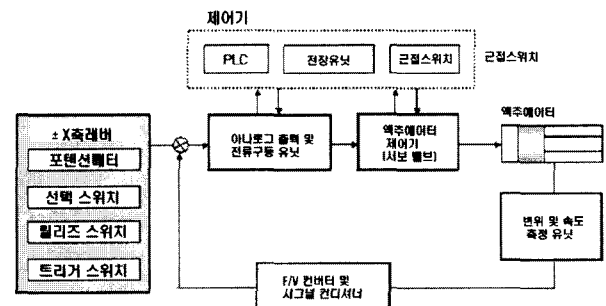


그림 9. 레버시스템의 제어 알고리즘

밸브를 제어함으로써 가능하고, 결국 레버 조작량은 서보 밸브에 입력되는 전기 신호 크기와 비례적으로 작용하여야 한다.

축 레버는 potentiometer, select switch, release switch, trigger switch로 구성되어 있으며, 레버를 조작함으로써 발생한 아날로그 출력 신호 및 전류 드라이브 유닛은 controller 내의 PLC 등의 제어 프로그램과 통신하고, 다시 액추에이터 컨트롤러인 서보 밸브에 전달됨으로써 원하는 위치로 서보 액추에이터 즉, 분사노즐을 이동시키게 된다.

이때 서보 액추에이터의 이동량은 변위 및 속도 측정 유닛으로 검출되어 F/V converter 및 signal conditioner를 통해 필요한 신호로써 변환되고, 이때 변환된 검출 데이터는 비교기를 통해 피드백 되어 발생된 에러량 만큼 보상되게 된다. <그림 9>는 레버 시스템의 제어 알고리즘을 나타내고 있다.

레버 시스템의 제어 알고리즘은 퍼지 이론을 이용하였다. 퍼지 제어기의 설계에 있어서는 퍼지 추론 규칙의 수를 결정하기가 쉽지가 않으므로 제어 대상에 대한 전문가의 경험과 지식을 바탕으로 전문가의 판단에 의해 시행착오적으로 추론 규칙의 수를 결정해야 한다는 어려움이 있었다. 따라서 본 연구에서는 자연 선택의 원리와 자연계의 생물 유전학에 기본 이론을 둔 병렬적이고 전역적인 탐색 알고리즘인 유전 알고리즘을 이용해서 전역적인 최적의 퍼지 추론 규칙의 개수와 귀속함수의 형태를 결정하고자 하였다.

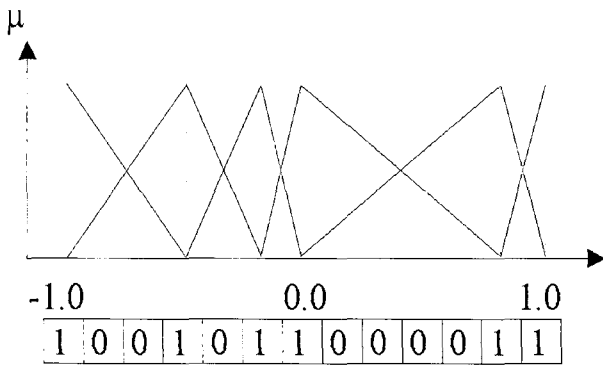


그림 10. String and membership function.

3.3.1 최적화 대상 인자와 적합도 함수의 선정

본 연구에서는 외란에 대응하는 퍼지 제어 입력 μ fuzzy를 결정하기 위하여 퍼지 추론 규칙의 개수와 귀속함수의 형태를 최적화 대상 인자로 선정하였다. 선정된 인자는 그림 10과 같이 0과 1의 조합으로 된 하나의 스트링(string)으로 구성되며, 1인 경우에는 귀속함수를 가지고 0인 경우에는 귀속함수를 가지지 않는다. 선정된 스트링은 유전 알고리즘에서 사용될 개체(individual)가 된다. 유전 알고리즘에서는 적합도를 이용하여 최적화의 상태를 평가하게 되는데, 본 연구에서는 AIC(Akaike's

information criterion)를 이용하여 판단기준 AIC를 식 (1)과 같이 두고, 적합도 함수 FIT를 식 (3)과 같이 선정하였다.

$$AIC(V_j) = N_j \log(ERROR) + 2M_j \quad (1)$$

$$ERROR = \sum_{i=0}^n (\theta_i(t) - \theta_{di})^2 \quad (2)$$

$$FIT(V_j) = \max_j (AIC(V_j)) - AIC(V_j) \quad (3)$$

여기서 AIC(Vi)는 각 개체 Vi에서의 판단기준값이 된다. Ni는 퍼지 입력변수의 개수이며, 본 연구에서는 퍼지 입력 변수를 sfi와 sfi로 두었으므로 2가 된다. Mi는 주어진 각 개체의 귀속 함수 개수를 나타낸다. 식 (2)의 오차함수는 각도 $\theta(t)$ 와 목표 각도 θ_{di} 의 오차에 대한 제곱의 형태를 취하여 초기 시간부터 누적시킨 값으로 하였다. FIT(Vi)는 각 개체 Vi에서의 적합도 값을 나타내며, $\max_j(AIC(Vi))$ 는 초기 세대에서 j번째 세대 사이에서 가장 큰 AIC(Vi)를 나타낸다. 따라서 AIC(Vi)는 각 개체 Vi에서 주어진 목표 귀속에 대한 추종성능(accuracy)과 퍼지 추론 개수의 최적화 정도를 나타내는 기준이며, AIC(Vi)의 값이 작은 경우 퍼지 추론이 잘된 것으로 볼 수 있다. 그러므로 본 연구에서 제안된 유전 알고리즘을 이용함으로써 적합도가 최대가 되는 퍼지 추론 규칙의 개수와 소속함수의 형태를 얻을 수 있다.

3.3.2 Gradient descent method를 이용한 퍼지 후건부의 학습

Gradient descent method에 의한 퍼지 후건부의 학습 과정에 대한 설명에 앞서 퍼지 추론 과정을 살펴보면 다음과 같다. 퍼지 논리에서 퍼지 추론 관계는 if-then 형식으로 구성되며, if 뒤에는 전건부가 오고 then 뒤에는 후건부가 오게 된다. 여기서 퍼지 입력변수를 x1과 x2라고 두고 퍼지 출력 변수를 y라고 두면, if-then 형식의 퍼지 제어 규칙은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$RULE \ i : \text{ If } x1 \text{ is } A_{i1} \text{ and } x2 \text{ is } A_{i2}, \text{ then } y \text{ is } B_i. \quad (4)$$

여기서 i는 추론 규칙의 수를 나타내고, Ai1과 Ai2는 전건부의 소속함수, Bi는 후건부의 소속함수를 나타낸다.

본 연구에서 사용한 퍼지 추론 방법은 최대 평균법(height method)을 사용하였다. 최대 평균법에 의한 추론 과정을 보면 <그림 11>과 같다. <그림 11>에서 추론 과정은 3가지 부분으로 되어있다. 우선 전제 x1, x2가 주어지고 각 규칙의 소속도 ω 를 계산하는 부분, 다음으로 규칙마다 추론 결과 Bi를 구하는 부분, 세 번째는 이들의 결과를 종합하여 규칙 전체의 추론 결과 y를 계산하는 부분이다. 본 연구에서는 소속도 ω_1 과 ω_2 를 구하기 위해서 각 퍼지 입력에 따른 소속도에서 작은 값을 소속도로 취하

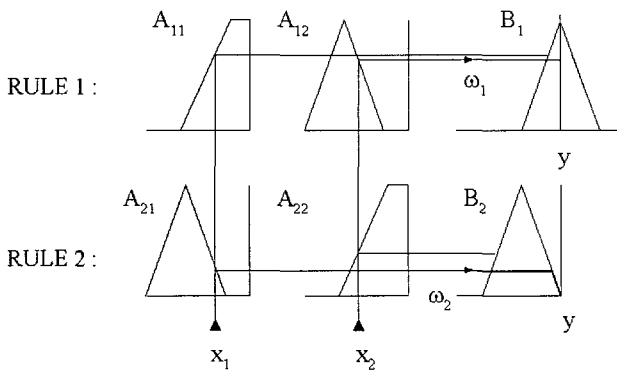


그림 11. Height method

는 카티션 곱(cartesian product)을 사용하였으며, 최대 평균법에 의한 추론 결과인 y의 계산은 다음과 같다.

$$\omega_i = A_{i1}(x_1) \wedge A_{i2}(x_2) \quad (5)$$

$$y^{(k)} = \frac{\sum_{i=0}^n \omega_i y_i}{\sum_{i=0}^n \omega_i} \quad (6)$$

Gradient descent method를 이용하여 퍼지 후건부의 퍼지 출력값 yi를 학습에 의해 조정하기 위해서 본 연구에서는 다음과 같은 평가함수 H를 정의하였다.

$$H = \frac{1}{2} (y^{(rk)} - y^{(k)})^2 \quad (7)$$

여기서, y(rk)는 k 번째 퍼지 입력에 대한 외란에 대응하는 기준 비퍼지 출력값을 나타내고, y(k)는 동일한 k 번째 퍼지 입력에 대한 비퍼지 추론값을 나타낸다. 그러나, 실제 시스템이 구동 중에서는 외란에 대응하는 기준 비퍼지 출력값 y(rk)를 알 수가 없으므로 본 연구에서는 다음과 같은 수정된 평가함수를 제안하고자 한다.

$$H \propto H' = \frac{1}{2} (\theta^{(rk)} - \theta^{(k)})^2 \quad (8)$$

여기서, $\theta(rk)$ 는 기준 목표각도이고, $\theta(k)$ 는 측정된 각도이다. 식 (8)에서 보면 $\theta(k)$ 가 $\theta(rk)$ 로 근접할수록 결과적으로 y(k)가 기준 퍼지 출력 y(rk)로 근접함을 알 수 있다.

4. 노면표시 제거 최적조건 실험

4.1 실험목적

본 실험은 현장 적용 이전에 도로가 손상되지 않고 노면 표시

가 제거되는 최적 조건에 대한 기본 DATA를 획득하고자 한다. 아울러 전체 실험장치 구성과 작동 상태에 대한 타당성을 확보하고자 함이다

4.2 실험내용 및 결과

실험은 분공경 0.2mm 1hole 노즐을 사용하여 대기압, 상온 하에서 수행하였다. 이때 사용한 시편은 노면표시 제거 기초실험 대상물로서 30cmx30cm 크기이며, 2mm 두께의 상온형 도로로 해당 도로의 시방에 따라 회석제로 회석하여 도포한 뒤 1주일 이상 상온에서 충분히 건조시켜 제작하였다. 각 실험의 변화 조건을 <표 1>에 나타내었다.

표 1. 도로노면 표시 제거 기초실험 조건

파라미터	실험조건
스프레이까지 거리	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 mm
스프레이의 각도	30, 60, 80, 90°
인젝션 압력	1,000, 1,500, 2,000 bar
유체 타입	Water

① 분사노즐 높이변화

시험편과 노즐사이의 간격 변화에 대한 실험으로, 분사 각도 90°, 분사압력 1,000 bar, 노즐 이송속도 240mm/min로 고정시킨 상태에서, 분사노즐 높이는 <표 1>에 나타낸 바와 같다.

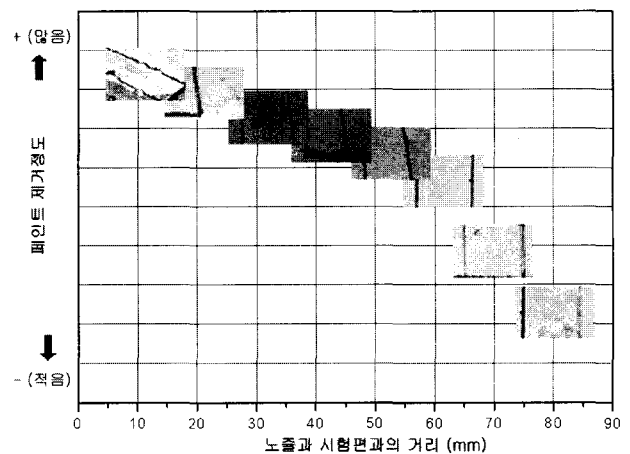


그림 12. 노즐과 시험편의 거리에 따른 페인트 제거능력 평가

<그림 12>는 실험 결과이며, 노즐과 시험편과의 10~20mm인 경우는 페인트 뿐 아니라 시험편의 아스팔트 부분마저 떨어지는 문제가 발생하였으며, 70~80 mm 이상일 때 제거 능력이 현저히 떨어짐을 알 수 있었다. 따라서, 40~60 mm의 정도가 최적 조건인 것으로 판단이 된다.

② 분사각도 변화

분사각도 변화 실험은 향후 회전형 다공 홀 노즐 시험에 있어 최대 허용 분사각도 결정을 하기 위한 기초 실험으로 수행되었다.

실험은 분사 노즐은 고정시킨 채 시험편의 각도만 변화시키면서 수행하였으며, <그림 13>은 시험장치 설치 모습이다.

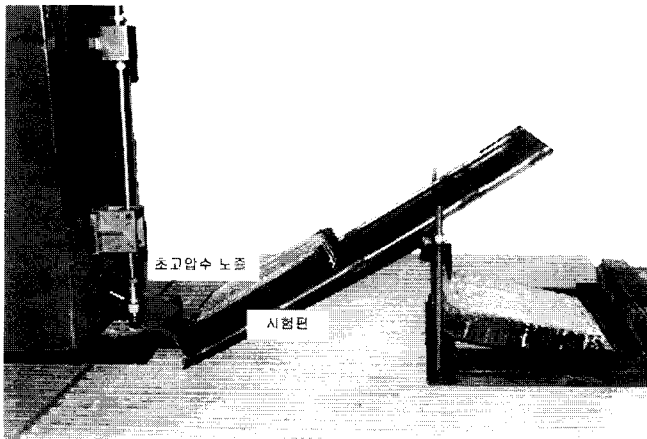


그림 13. 분사각 변화 시험장치

실험은 분사 압력 1,000 bar, 노즐 이송속도 2,500 mm/min로 고정시킨 상태에서, 분사각도를 30, 60, 80, 90°로 바꾸가며 수행하였다.

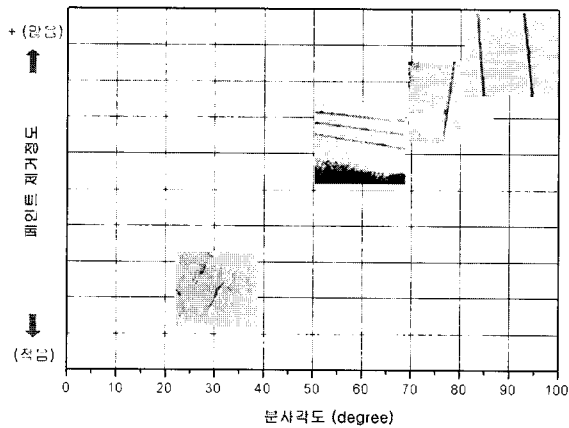


그림 14. 분사각도 변화에 대한 페인트 제거능력 평가

<그림 14>는 그에 따른 실험 결과이며, 분사의 범위는 최소 60° 이상은 확보가 되어야 된다는 결과를 얻을 수 있었다.

③ 분사압력 변화

실험은 회전링크를 사용하여 1hole 노즐을 폭 방향으로 전진과 동시에 왕복시키며 수행하였다. <그림 15>는 회전장치가 설치된 노즐운동 변환장치를 나타내고 있다.

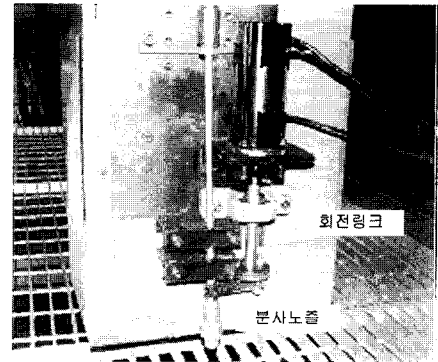


그림 15. 노즐운동 변환장치

회전링크의 회전 속도 500 rpm, 시험편과 노즐 사이의 간격은 20mm로 하여 분사 압력을 1,000, 1,500, 2,000 bar로 변화시켜가면서 실험을 수행하였다.

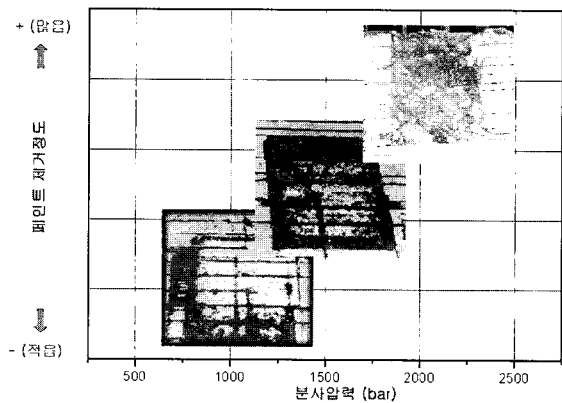


그림 16. 노즐 왕복운동을 통한 분사압력 변화에 따른 노면표시 제거능력평가

<그림 16>은 실험 결과를 나타낸다. 그래프에서 보는 바와 같이 분사 압력이 1,000 bar일 때 앞선 실험결과와 달리 회전 링크의 빠른 회전에 의해 노면에 대한 분사 시간이 충분하지 않아 노면표시 제거가 완전하게 이루어지지 않았다.

그리고, 분사압력 1,500 bar일 때 이러한 현상이 나타나는 것을 확인하였다. 한편, 2,000 bar일 때는 전체적으로 노면표시 제거가 확실히 이루어졌으나, 페인트 제거와 함께 아스팔트 표면 또한, 1~2mm 정도 박리되는 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 회전링크 조절장치를 이용하여 노면표시 제거시에는 1,500~2,000 bar의 중간 값인 1,700~1,800 bar 정도가 노면표시 제거에 있어 최적 압력으로 판단된다.

5. 결론

본 연구는 워터젯(water-jet)기술을 이용한 노면표시 제거 장비의 개발을 위하여 개발장비의 주요 고려요소 및 개발장비의

주요 구성요소를 분석한 후 이를 바탕으로 성능조건을 도출하는 것으로 그 결과는 다음과 같다.

첫째, 현행 노면표시 제거작업 분석결과 노면표시 제거작업은 작업준비-노면표시제거-현장정리로 구분할 수 있으며 노면표시 제거작업의 전공정을 수행할 수 있는 장비가 필요함을 알 수 있었다.

둘째, 기존 도로현황 및 노면표시제거 작업분석 결과를 바탕으로 장비개발시 고려해야 될 다양한 기술적 사항들을 분석하였으며 이를 토대로 개발장비의 구성 요소와 주요 요소기술, 개발장비의 전체 개념도를 도출하였다.

셋째, 개발 장비 설계를 위한 성능 조건을 분석하기 위해 워터젯 시스템, 1축 로봇시스템, 제어용 레버시스템 등 각 구성 유닛에 대한 설계 사양 및 설계 기준을 검토한 후 제작하였다.

넷째, 개발 장비의 현장 적용 이전에 별도의 실험장치를 구성하여 노면표시 제거를 위한 최적 조건을 찾기 위함과 워터젯 시스템의 성능을 확인하기 위한 실험을 수행하였으며, 실험 결과, 노즐과 노면사이의 분사 거리는 최대 60mm 이내, 분사각도 최소 60° 이상, 1 hole 노즐 왕복운동시 분사압력 1,700~1,800 bar 임을 확인하였다. 하지만, 이 경우에 있어서 전진 속도가 너무 느리다는 단점이 있으므로, 새로운 노즐 선정이 필요할 것으로 판단된다.

향후 상기의 연구결과를 바탕으로 장비를 개발함에 있어서 다양한 관련 기술들을 비교·분석하고 개발장비의 상세설계와 제작이 이루어져야 할 것이다. 특히, 다양한 형태의 노면표시제거에 대한 문제, 아울러 개발장비의 기술적·경제적 타당성 분석이 병행되어 향후 개발될 장비의 시장성 및 경제성을 감안한다면 보다 실용적이고 실현가능한 연구가 될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. SUGINO MACHINE LTd, CAT, 'Water Tools & Accessories,' NO. U4201NE, pp. 24~25, (2003)
2. <http://www.jetedge.com> (2004)
3. 도로교통법, 행정자치부, (2003)
4. 도로공사 표준시방서, 건설교통부, (1996)
5. 신판 유공압편람 (상), (주)일본유공압학회 편, pp. 359~363, (1989)
6. Hydraulic Control systems, John Wiley & Sons, Inc., pp 174~270