

드라이아이스 블래스터를 이용한 자동화 차선제거 장비 개발을 위한 기초연구

A Basic Study on the Development of Automatic Line Stripe Removal Using Dry Ice Blaster

구 자 경[○] · 문 득 수[●] · Leonhard E. Bernold^{***} · 이 테 식^{****}
Ja Kyung Koo · Deuk Soo Moon · Leonhard E. Bernold · Tai Sik Lee

요 약

도로시설은 교통을 위한 가장 기본적인 인프라 시설로, 원활한 교통흐름을 위해 다양한 정보가 노면에 표시되어 있다. 이러한 정보는 도로를 유지 관리하는 과정에서 지속적으로 제거되고 다시 표시하게 된다. 노면표시를 제거하는데 있어서 기존의 방법은 토치와 그라인더를 이용한 반복 작업으로 위험성과 함께 작업자가 운행 중인 차량에 직접 노출되는 문제점을 갖고 있었다. 또한 노면표시 중 일부인 차선을 효과적으로 제거하기 위한 개선방안으로 자동화 장비의 도입과 워터젯을 이용한 차선제거 장비가 개발되어 활용되고 있으나 몇 가지 문제점을 갖고 있다. 이에 본 연구는 친환경 세척기술의 하나인 드라이아이스 블래스터 장비 도입을 통하여 자동화 차선제거 장비개발의 가능성을 검토하고자 하였다. 기본 연구 수행 결과 드라이아이스 블래스터를 차선제거에 적용하는 것은 가능할 것으로 판단되며, 향후 구체적인 장비 개발을 위한 경제성 및 타당성 분석하는데 추가적인 연구가 요구될 것으로 판단된다.

키워드: 노면표시 제거, 드라이아이스 블래스터, 건설 자동화

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

도로의 유지관리 작업 중 하나로 노면표시 제거작업은 교통량 증가에 따른 차선 변경 및 변질된 도로의 보수를 위해 지속적으로 이뤄지고 있다. 또한 교통법규 및 도로여건의 변화 등에 따라 기존 정보의 수정을 위해서도 노면표시 제거 작업이 발생한다.

그러나 현재의 노면표시 제거작업은 부분적으로 차선을 막고 작업이 이뤄지기 때문에 차량 통행에 영향을 미치며, 작업자가 차량 흐름에 직접 노출되어 안전사고의 발생 가능성이 높으며, 단순 반복되는 수작업 중심의 작업공정으로 인해 작업자에 따라 생산성과 작업 품질에 차이가 발생한다.(김근태, 2006) 이와 함께, 3D 업종 기피현상은 3D 업종

의 모든 특성을 갖는 노면표시 제거작업의 신규 인력 충원을 확신할 수 없게 한다.

해외의 경우 다양한 기술의 노면표시 제거방법에 관한 연구가 수행되어(Oregon DOT, 2001) 실제 공항의 활주로 및 차선을 제거하기 위한 목적으로 적용 되고 있다. (NLB Corporation, 2005) 해외 사례를 바탕으로 국내의 경우는 초고압수(워터젯)를 이용한 노면표시 자동제거 장비개발을 위한 연구를 통해 장비를 운영하고 있으나, 운영 과정에서 몇 가지 문제를 내포하고 있다.

이에 본 연구는 친환경적인 드라이아이스 재료를 이용한 블래스터 장비 도입에 따른 자동화 차선제거 장비개발을 위한 기초연구로써 가능성 및 새로운 방안에 대해서 살펴보고자 하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 개선된 차선 제거 자동화 장비 제안을 위한 연구로 드라이아이스 블래스터의 차선제거 가능성을 살펴보기 위해 다음의 연구를 수행하였다.

- 1) 문헌조사를 통한 차선제거 장비를 이용한 제거 대상인 차선표시용 도로에 대해 조사

* 정희원, 한양대학교 토목공학과 박사수료, 공학석사
nalty@hanyang.ac.kr

본 연구는 교육과학기술부의 두뇌한국21(BK21)사업과 중소기업청의 산학공동기술개발지원사업으로 이루어진 것으로 본 연구를 가능하게 한 해당 기관에 감사드립니다.

** 정희원, 한양대학교 토목공학과 석사과정, 공학사

*** 정희원, 한양대학교 건설환경시스템공학과 교수, 공학박사

**** 정희원, 한양대학교 건설환경시스템공학과 교수, 공학박사

- 2) 문헌조사를 통한 기존의 차선제거 방식 및 해외 차선제거 기술에 대해 조사
- 3) 인터뷰 및 문헌조사를 통한 드라이아이스 블래스터를 이용한 세척 작업 활용 및 기술 특성 조사
- 4) 실제 드라이아이스 블래스터를 이용하여 차선제거 작업 수행

2. 차선제거 관련 기술의 검토

2.1 차선 표시용 도료

국내 도로표시 종류는 도로교통법 시행규칙의 노면표시에서 규정하고 있다. 도로표시는 선, 문자, 도형 등의 다양한 종류와 규격이 존재하며, 많은 노면표시가 선(line)을 기본 형태로 한다.

국내에서 사용 중인 차선 표시 시공법에는 용착식, 상온식, 가열식 세 가지가 있으며, 각 시공방법에 따라 사용되는 도료의 특성에 차이가 있다.

용착식 시공방법에 사용되는 도료는 대부분의 차선도색에 사용된다. 시공 시 가열 용해하여 사용되며, 내구성이 강하고, 가열식 시공방법에 비해 적은 시간이 소요되고, 한번 작업하면 오랫동안 지속되는데 반해 기존의 표시를 제거하기가 어렵고 시간도 많이 소요되는 단점을 갖고 있다.

상온식 시공방법은 아스팔트면 및 시멘트 도로면에 부착력이 뛰어나고 내마모성이 우수하며, 내후성, 내충격성, 내수성, 내알칼리성 등이 좋다. 붓, 로라, 스프레이 등을 이용하여 작업이 가능하며, 스프레이 사용 시 입자가 작은 페인트 도료를 분사하여 사용하나 차선이 오래 지속되지 않는 단점이 있다.

가열식 시공방법은 용착식과 같이 도료를 가열하여 사용하는 것으로 특수 변형합성수지를 전색제로 사용하고 내마모성 및 내후성이 좋은 안료를 선정하여 제조한 가열 분사형 자연건조 도료이다. 이상의 세 가지 시공방법에 사용되는 도료에 대한 특성은 표 1)과 같다.

표 1 차선표시 도료의 종류 및 특성

분류	특성
용착식 도료	· 합성수지와 흰색, 황색, 체질안료를 혼합하여 제조하는 무용제형 도료 · 시공 시 가열 용해하여 사용
상온식 도료	· 아크릴 합성수지를 전색제로 사용 · 흰색, 황색 및 체질안료를 조합 분산한 도료
가열식 도료	· 특수변형합성수지를 전색제로 사용 · 내마모성 및 내후성이 좋은 안료를 선정하여 제조한 가열 분사형 자연건조 도료 · 시공시 도료를 가열하여 사용

2.2 국내의 기존 차선제거의 문제점

기존의 차선제거 작업은 안전 시설물 배치, 차선 표시제거,

1) 한재구 외, “노면표시 제거 자동화 장비개발을 위한 작업공정분석”, 대한건축학회 학술발표논문집, 2004, pp. 373의 표를 수정하여 인용

청소 및 마무리 등 작업이 반복적이며, 각 작업자들이 선행 작업자를 따라가면서 동시 다발적으로 작업을 수행하여 작업현장이 복잡하다. 또한 작업 구간의 바로 옆에서 차량이 운행되기 때문에 작업자가 위험에 직접 노출되며, 작업 시 많은 소음과 분진을 일으켜 작업자의 신체 건강에 좋지 않고, 작업장 주변의 민원 요인으로 작용할 수 있다.(한재구 외, 2004)

토치를 이용하는 경우, 그라인더 이용과 같이 작업자들이 직접 도로에 노출되어 작업자의 안전성에 대한 문제가 있으며, 차량 흐름을 방해한다는 문제점을 갖고 있다. 또한 차선을 불로 가열 후 솔로 비벼 제거하는 작업 중에 일산화탄소, 시안화수소, 염화수소 등 유해 물질이 발생하며, 작업 시 프로판 가스를 이용하여 큰 사고로 이어질 수 있다.

초고압수 이용방법은 기존 방법에 비해 작업자의 투입이 적고 물을 사용하여 기존 작업에 비해 환경오염 및 작업자의 건강에 미치는 유해물질 발생을 최소화 하는 등 많은 개선이 있었으나, 현재까지 장비의 보급이 많지 않고, 초고압수 운영을 위한 물탱크가 장비의 많은 부분을 차지하여 장비가 대형이며, 이동속도가 느리다는 문제가 있다. 또한 초고압수 작업으로 인하여 노면이 젖어 차량 운행에 영향을 미칠 수 있으며, 동절기에 수분이 결빙을 일으켜, 사고로 이어질 수도 있다.

2.3 국외의 차선제거 관련연구

미국의 경우 여러 도로관련 기관에서 차선제거 방법에 대한 다양한 연구를 수행하였다.(Oregon DOT, 2001)

Florida DOT(FDOT)는 아스팔트 포장 도로를 대상으로 그라인딩(Grinding), 워터블래스터(Waterblaster), 두 가지 장비를 조합하여 차선제거에 대한 실험을 수행하였다. 실험결과 수성페인트, 열가소성도료, 테이프 형태 도료(Performed Tape)가 제거가 가능하였다. 또한 초고압수 및 부피가 작은 블래스터 방법이 가장 효과적인 차선제거 방법이라는 결과를 도출하였으나, 장비를 운영하는 작업자의 경험과 기술에 의해 제거결과에 차이가 있음을 지적하였다.

ODOT(Oregon DOT)는 소다 블래스터, 그라인더, 스크래퍼의 장비를 이용하여 아스팔트 포장의 차선을 대상으로 실험을 수행하였다. 실험결과 소다 블래스터는 느리지만, 깨끗하고 완벽하게 제거되는 것으로 조사되었다. 스크래퍼와 그라인더를 이용한 장비는 빠르지만, 포장의 손상을 일으켰다. 특히 모든 방법은 작업자의 기술과 경험에 많은 영향을 받을 수 있는 것으로 조사되었다.

3. 드라이아이스 블래스터

3.1 드라이아이스의 특성

드라이아이스는 기체인 이산화탄소(CO₂)를 기체 이산화탄소를 압축하여 액체로 만든 후, 노즐로부터 분출시켜 갑자기 팽창시키며 일부를 기화시키는 과정을 통해 만들어진다. 드

라이아이스는 대기 중에서 -78.5°C 에서 고체에서 직접 기체로 승화하는 성질이 있고, 이 때 주위로부터 열(기화열)을 흡수하므로 주위의 온도를 급속도로 낮추는 작용을 한다. 드라이아이스는 승화 시 잔류물이 남지 않아 깔끔하며 단위 중량당 기화열이 크고 얼음과 달리 젖지 않기 때문에 냉각제로 널리 이용된다.(박중수, 2001)

드라이아이스는 얼음과 달리 매우 낮은 온도의 물질이기 때문에 직접 손이나 몸에 닿으면 급격한 동상에 걸리기 쉬우므로 취급에 주의가 요구되나, 직접적인 접촉을 피하는데 특별한 기술이 요구되는 것이 아니기 때문에 비교적 쉽게 사용할 수 있다.

3.2 드라이아이스 블래스터의 세정원리

본 연구에서 고려하고자 하는 드라이아이스 블래스터는 도로에 각종 표시를 위해 사용된 도료를 오염물질로 간주하여, 이를 차선제거하는 방안으로, 드라이아이스 입자를 블래스터를 이용하여 초고속으로 가속하여 노면의 도료에 분사하여 크랙을 만들고 크랙 사이로 드라이아이스 입자를 연속적으로 분사하여 입자가 승화하면서 순간적으로 팽창하면서 도료를 제거하는 것이다. 이 때, 차선제거의 효율(세정력)을 결정하는 핵심요인은 승화력 및 밀도로서 블래스터의 분사속도와 입자 상태에 영향을 받을 수 있음을 고려하여 적용방안을 도출하는 것이 요구된다.

그림 1은 드라이아이스 펠렛을 블래스터에 이용하여 사출하였을 때 제거 되는 현상을 단계별로 도식화 한 것이다. 1차적으로 고압을 이용하여 드라이아이스 펠렛을 제거하려고 하는 대상에 사출하게 된다. 그리고 2차적으로 표면에 붙어 있는 미세한 먼지와 도료를 제거되는 현상을 보여주고 있다. 이때 드라이아이스 펠렛은 제거 대상물에 순간적으로 붙었다가 펠렛과 함께 떨어지게 된다. 마지막 단계에서 사출된 드라이아이스 펠렛은 공기 중으로 승화되어 사라지게 되며, 제거된 대상물 면적이 점점 늘어나며 찌꺼기들은 그 주위에 쌓이게 되는 현상을 보이게 된다.

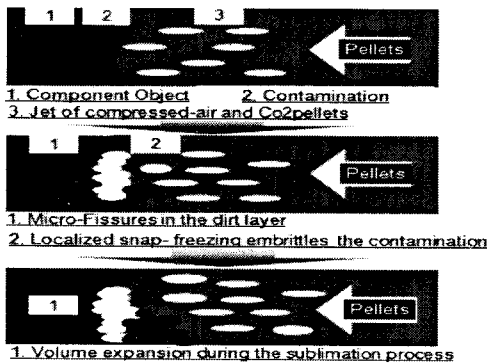


그림 1 드라이아이스 펠렛(Pellet)을 이용한 블래스터 방법
(출처: Littmann Strahltechni, www.littmann.li)

차선제거의 효율(세정력)을 결정하는 핵심요인은 승화력 및 밀도로서 블래스터의 분사속도와 입자 상태에 영향을 받을 수 있음을 고려하여 적용방안을 도출하는 것이 요구된다.

4. 드라이아이스 블래스터의 적용 실험

본 연구와 관련하여, 드라이아이스 블래스터를 적용하여 차선제거 자동화 장비를 개발하기 위해 장비의 최적조건을 알아보려고 노즐의 각도, 형태, 압력 및 이격 거리등을 파악하고자 하였다. 더불어 제거되는 거리에 따라서 소요되는 작업시간, 사용 펠렛량 및 연료량에 대한 데이터를 통해 드라이아이스 블래스터 적용 가능성을 파악하는데 목적이 있다. 또한 실험을 위해 사용한 장비는 2~16Bar의 압력으로 100HP 이상의 압축공기를 발생하여 초당 25g의 펠렛을 분사하는 장비이며, 세부 제원은 다음 표와 같다.

표 2 드라이아이스 블래스터<ICDB-2>의 제원

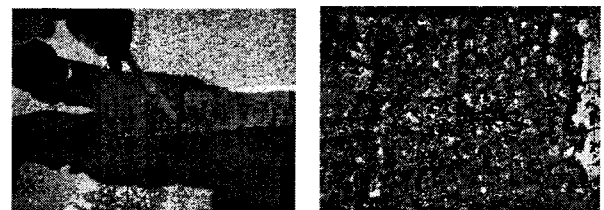
항 목	제 원
치수	L700mm×W530mm×H990mm
무게	79kg
호퍼 용량	23kg
펠렛 소모량	30~80kg/hr(표준 airlock plate)
호스 직경	3/4 inch
유량	2~12m ³ /min at 2~16bar
전압	110/220 V
전력 소모량	750 W/h

4.1 실험을 위한 현장 환경

드라이아이스 블래스터를 이용한 자동화 장비 개발을 위한 장비 적용 가능성을 확인하기 위하여 한양대학교 내에 위치하고 있는 아스팔트 도로에 표시된 차선을 대상으로 실험을 실시하였다. 제거 대상물 선정은 도료가 제거되어야 할 상태로 보이는 것으로 선정하였으며, 여러 겹 상태로 되어 있는 도료를 실험대상으로 선택하였다.

4.2 드라이아이스 블래스터의 적용 실험

실험은 각각 3회씩 실시하였으며, 15cm의 차선을 대상으로 제거를 실시하였으며, 이격거리 5cm로 고정하고, 분사각도와 압력에 변화를 주어 최적조건을 찾고자 하였다. 사용된 펠렛량은 대상물과 주변 환경에 따라 차이가 있으나, 실험을 통해 평균 1kg/min가 소모됨을 알 수 있었다. 연료측정은 실험이 종료되었을 때 들어간 연료량을 파악하였다. 그림 2는 실험 작업의 모습(a)과 제거된 상태(b)를 나타내고 있다.



(a) 실험 모습 (b) 결과

그림 2 실험 모습 및 결과

1차 실험을 통해 분사각도를 30, 60, 90°로 변화를 주어 실험을 수행한 결과 최적의 분사각도는 60°로 조사되었다(그림 3 참조). 이러한 결과를 바탕으로 분사각도를 60°로 고정하고 분사 압력을 6, 8, 10Bar로 조정하여 실험한 결과 10bar 일 때 작업 시간이 가장 짧은 것으로 조사되었다. 여기서 10Bar는 운영 장비인 콤프레서가 제공하는 최대 압력으로 그 이상을 테스트 하지 못하였으나, 드라이아이스 블래스터 장비 운영 경험이 있는 전문가를 대상으로 인터뷰한 결과 분사 압력이 높을수록 제거 시간이 단축된다고 답한 부분과 일치하는 것으로 판단된다.

실험과 관련한 노즐의 최적 형태는 와이드와 둥근 노즐의 사전에 실험을 실시한 결과 와이드 노즐이 더 적합하다는 것을 알 수 있었다. 아래 그림 3과 4는 와이드 노즐각도 변화에 따른 작업 시간 변화와 분사압력에 따른 작업시간의 변화이다.

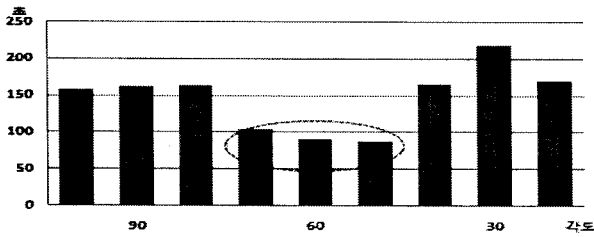


그림 3 와이드 노즐 각도 변화에 따른 작업시간 변화

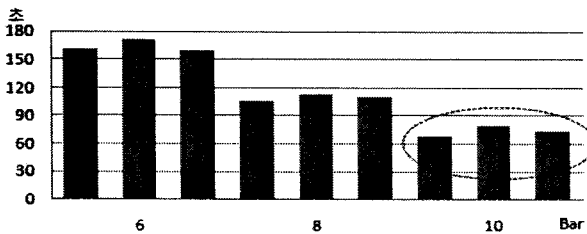


그림 4 분사압력에 따른 작업시간 변화

5. 결론

본 연구는 드라이아이스 블래스터 적용 가능성을 알아보기 위한 테스트를 수행하였다. 실험을 통해 다음을 알 수 있었다.

- 1) 드라이아이스 블래스터를 이용해 아스팔트 포장면의 차선 제거 가능
- 2) 작업 간 분사 각도에 영향을 받으며, 최적 각도는 60°
- 3) 분사 압력 역시 작업에 영향을 미치며, 압력이 높을수록 차선 제거작업 속도가 단축

실험을 통해 드라이아이스 블래스터를 차선 제거작업에 활용하는 것이 가능함을 알 수 있었다. 이와 함께 향후 드라이아이스 블래스터를 이용한 차선제거 자동화 장비를 개발하는 것 역시 가능한 것으로 판단된다. 그러나 자동화 장비를 개발하기 위해서는 센서를 비롯한 추가적인 연구와 실험이 요구되며, 특히 장비 개발에 따른 경제성 및 타당성 분석과 관련한 연구가 추가적으로 요구된다.

참고문헌

1. Kevi Haas, "Research Notes: Methods for Traffic Stripe Removal", Oregon Department of Transportation, Nov 2001
2. Ralph Ellis, Byron Ruth, "Development of Improved Procedures for the Removal of Pavement Marking", Florida Department of Transportation. June 1999
3. 건설교통부, "초고압수를 이용한 노면표시 자동제거 장비개발 연구보고서", 2006.12
4. 권순욱 외 2인, "초고압수를 이용한 노면표시 자동제거 장비개발을 위한 제어시스템 및 노면최적조건에 대한 연구", 한국건설관리학회 논문집 제5권 제4호, 2004.8
5. 김근태 외2인, "워터젯을 이용한 노면표시 제거장비의 프로토타입 개발" 한국건설관리학회 논문집 제7권 제5호, 2006.10
6. 박중수, "드라이아이스 블래스터 장치 및 공정 개발에 관한 연구" 중앙대학교 석사학위 논문, 2001.12
7. 한재구 외 2인, "워터젯을 이용한 노면표시 제거장비의 성능평가에 관한 연구" 한국건설관리학회 논문집 제7권 제6호, 2006.12
8. 한재구 외 3인, "노면표시 제거 자동화 장비개발을 위한 작업 공정분석, 대한건축학회 학술대회 논문집, 대한건축학회, 2004.4

Abstract

Road is one of the infrastructure facilities, on which lines include various information for guiding a smooth traffic flow. This line marking work is continually removed and re-marked during maintenance. However, some problems exist when the line marking work is conducted. Traditional methods of using grinders and torches have risk of repetitive skill, and workers are exposed directly to the hazardous situations. Moreover, even though the equipment has developed, the line removing work induces environmental contamination and pollution line on the road. Therefore, this study can become one of the eco-friendly cleaning technologies using dry ice blaster equipment, and the new development of equipment will improve method of pavement marking removal. Also, it can introduce innovative automation in construction.

Keywords : Line removal, Dry-ice blaster, Automation in construction