

아스팔트 포장의 시공 조인트 개선방안



이 석 홍 | 정회원 · 우리학회 이사 · 현대기술연구소 팀장/책임연구원
공학박사, 도로 및 공항공기술사

1. 개요

아스팔트 포장공사에서 발생하는 시공조인트 (construction joint)의 대표적인 종류에는 종방향 조인트(longitudinal joint)와 횡방향 조인트(transverse joint)가 있다. 종방향 조인트는 주로 페이버의 횡방향 끝단에서 옆 차선과의 접합부에서 발생하는 일종의 콜드조인트(cold joint)로 포장공사 중에 옆차선과 만나는 부분으로 주로 온도저하와 다짐부족으로 인한 밀도저하와 골재분리(aggregate segregation)현상으로 인한 불균질한 포장면의 texture가 문제의 발단이 된다. 종방향 조인트에 발생한 균열은 종방향 조인트균열(longitudinal joint cracking)이고, 이는 국내 아스팔트 포장의 중요한 조기파손의 원인 중에 하나이다. (그림 1 참조)

횡방향 조인트는 주로 포장공사의 포장작업이 당분간 멈출 경우(대략 15분 이상)에 발생하는 시공조인트

트의 일종으로, 교통의 진행방향과 수직방향으로 발생하는 시공조인트이다. 일반적으로 대규모 신설 도로 포장공사에서는 날마다 발생된다. 특히 횡방향 조인트는 포장의 평탄성 또는 도로의 승차감과 직접적인 연관이 있으므로 특별하게 관리하여야한다. 포장공사 중에 페이버가 아스팔트 혼합물의 물량부족으로 멈추거나 페이버와 트럭의 충돌 또는 페이버로 인하여 횡방향의 bump가 발생할 수 있으며 이는 시공 조인트는 아니지만 평탄성에 많은 영향을 미치게 된다.

2. 국내 아스팔트 포장 시공의 문제점

지난 10여 년간 우리나라의 아스팔트 도로포장에 관련된 모든 사람들의 초점은 소성변형(Rutting, Permanent deformation)에 저항성이 큰(좀 더 단단한) 아스팔트 혼합물을 시공하는 것이었다. 그러나 소성변형에 대한 근본적인(학문적인) 원인분석에 상당한 시간과 노력을 할애한 반면, 현장 특히 아스팔트 혼합물을 생산하는 아스팔트 플랜트나 그 플랜트에 골재를 납품하는 골재업체(석산)의 문제나 또는 생산된 아스팔트 혼합물이 운송으로부터 현장에 포설되고 다짐작업으로 이어지는 현장의 품질관리 문제점에 대하여는, 대부분의 연구자가 접근하기 어려운 부분이었다. 현장에는 학문적으로 해결되지 않는 많은 문제점들이 있기 때문이다.

좀더 단단한 아스팔트 혼합물을 만드는 일은 다른

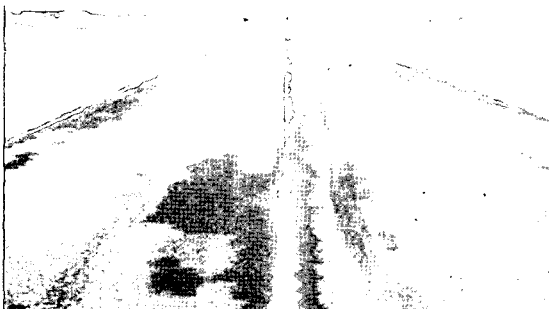


그림 1. 심각한 종방향균열의 모습

종류의 포장파손형태인 저온균열이나 피로균열에 좋지 않은 영향을 준다는 사실을 등한시 하기도 했다. 그동안 국내에서 아스팔트 도로포장의 소성변형에 대하여 저항하는 방법으로는 주로 개질아스팔트의 사용이라든가, 외국에서 소성변형에 저항성이 높다고 알려진 아스팔트 포장공법을 도입하는 것이었다.

이러한 맥락에서 보면, 1987년부터 5년 동안 미국의 연방도로청 (FHWA, Federal Highway Administration)에서 약 2000억 원 정도의 연구비를 투자한 SHRP(Strategic Highway Research Program)의 연구결과가 우리나라에도 상당한 영향을 주었다. 특히 최근에 국내에서 생산되는 몇몇 개질아스팔트는 이러한 최근에 미국의 SUPERPAVE (Superior Performing Asphalt Pavements) 규격에 의하여 생산되고 있는 실정이다. 슈퍼페이브의 개념은 아스팔트 바인더에 대하여는 새로운 등급체계 (grading system)를 제시하였고, 골재의 품질에 관하여는 주로 angularity(골재의 모난 정도)와 편장석 함유량 그리고 모래당량을 중요한 영향인자로 강조하였다. 골재의 입도에 대하여는 우리가 전통적으로 사용하던 13mm 밀입도 포장에서 보다 굵은골재가 많이 포함된 거친 입도를 요구하였고, SMA(Stone Matrix Asphalt)포장에서 강조되는 것과 같은 골재의 맞물림(aggregate interlocking)을 강조하여 교통하중으로부터 발생하는 전단력에 저항하도록 요구하고 있다. 이러한 국제적인 연구결과와 영향으로 몇 년 전부터 건설교통부 및 지방국토관리청에서 관장하는 일반 국도에서는 아스팔트 표층에 굵은골재 최대 치수가 20mm인 밀입도로 설계하고 있으며 중간층 개념을 도입하였고, 아스팔트 등급도 AP-3에서 AP-5로 변경하였다. 한국도로공사에서는 SMA포장공법을 적극적으로 도입하여 고속도로의 덧씌우기 포장과 교면포장에도 사용하고 있다.

이렇듯 굵은골재 최대치수를 증가시키고 아스팔트의 등급을 상향 조정한 것은 아스팔트 혼합물의 소성변형 저항성을 증가시키는 방법임에는 틀림이 없다. 그러나 아스팔트 혼합물의 대부분을 차지하는

골재의 품질과 아스팔트 플랜트를 체계적으로 관리하는 국가적인 관리시스템은 아직 불충분하다고 보인다. 아스팔트 플랜트의 철저한 생산관리로 현장에 도착되어지는 아스팔트 혼합물의 품질이 보증된다. 다시 말하면 이들이 올바르게 배합설계 되고 생산으로 이어지는 과정(process)이 정확한 관리시스템에 의하여 관리되는 것이 정말로 중요하며 이러한 과정을 관리하는 기법을 process control 또는 quality control 이라 한다.

올바른 QC 조건하에서 생산된 아스팔트 혼합물은 올바른 기준에 의하여 현장으로 수송되고, 정해진 절차와 기준에 의하여 포설/다짐 되어야 한다. 아스팔트 혼합물의 수송과 포설 작업 중에 가장 큰 문제는 골재분리 현상과 혼합물의 온도편차 문제이다. 이로 인하여 포장면의 texture가 일정하지 않게 되고 이는 결국 동일포장면상에서의 밀도의 편차로 나타나 공극률과 다짐도 관리문제로 연결되며 궁극적으로 포장의 공용성으로 이어진다. (그림 2 참조)

이러한 일련의 과정이 국가적인 품질보증시스템 하에서 관리되는 것이 보다 중요한 것이다. 이러한 맥락에서 보면 국내의 아스팔트 포장분야는 앞으로 많은 부분이 새롭게 개척되어야 하며 골재생산업자, 아스팔트 공급업체 그리고 아스팔트 플랜트와 시공회사 및 감리업체가 전반적으로 포장을 이해하고 품질생산/시공할 수 있는 계기가 마련되어야 한다.

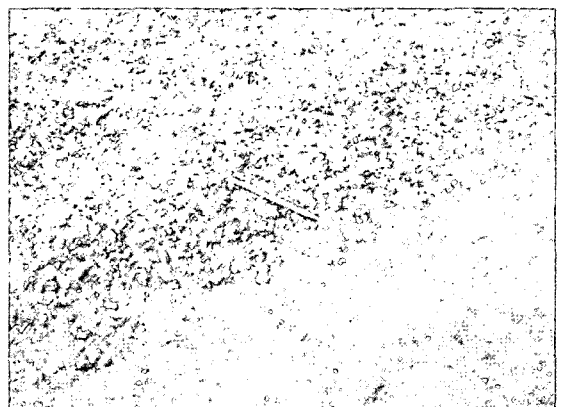


그림 2. 전형적인 아스팔트 포장의 분리현상(Segregation)

결국은 아스팔트 플랜트에 골재와 아스팔트 또는 개질재를 납품하는 업체, 투입된 재료를 이용하여 아스팔트 혼합물을 생산하는 아스팔트 플랜트(특히 시험실과 오퍼레이터) 그리고 이를 현장에서 시공하는 현장기술자와 감독(감리)들이 일정한 수준의 아스팔트 도로포장에 대한 상식이 필요하며, 각자가 맡은 부분에서의 품질관리 수준을 이해해야 한다. 이런 내용 등은 도로포장 시공 전에 포장시공을 위한 준비회의(pre conference)에서 각 담당자에게 철저히 언급되어야 한다. 이를 위해서는 결국 국가적인 도로포장의 교육시스템의 구축과 training course의 개발이 가장 시급한 문제이다.

앞에서 언급한 바와 같이, 그동안 주로 소성변형의 저감에 많은 노력과 정책이 이어져왔다. 최근 몇 년 동안에는 여름철 집중호우 기간에 발생하는 박리현상과 포트홀의 발생으로 많은 문제를 겪고 있다. 박리현상(stripping)은 아스팔트 포장체에 스며들어간 수분에 의하여 아스팔트와 골재 사이에 결합력이 저하되어 아스팔트와 골재가 분리되는 현상이며, 이러한 현상은 소성변형이나 균열 그리고 포트홀(pothole)로 급격하게 연결된다. 이런 의미에서 박리현상을 아스팔트 혼합물의 moisture susceptibility(수분민감성)이라 부르기도 한다. 박리현상의 원인은 수분이다. 그래서 박리현상을 막는 방법은 포장체의 공극이나 끝단이나 부근의 구조물을 따라 포장체의 밑으로 스며드는 물을 막는 것이고, 포장체 표면의 균열(특히 종방향 균열) 틈으로 스며드는 수분을 막는 것이다. 또한 도로의 배수구조 불량이나 지하수위의 갑작스러운 상승도 중요한 요인의 하나이다.

위에서 언급했듯이 소성변형의 위협에서부터 벗어나기 위하여, 현장에서는 가능한 아스팔트 양을 줄이고, 굵은골재의 사용량을 늘리고 있는 실정이다. 이 결과 아스팔트와 골재 사이의 진정한 결합에 필요한 아스팔트의 양이 부족한 경우가 발생하고, 현장배합설계에서 공극률 관리에 문제점이 생기는 경우가 빈번하게 발생하고 있다. 특히 최근에 여름철

의 강우특성이 200년 강우빈도를 초과하는 게릴라성 폭우가 매년 여름 발생하고 있는 현실을 감안할 때 도로포장의 배수시설이 취약한 국내 아스팔트 포장의 총체적인 생산 및 시공현장 품질관리를 개선하는 것이 급선무이다.

3. 횡방향 조인트

횡방향 조인트의 설치는 오늘 멈춘 포장작업이 다시 시작하기 전에 교통이 통과해야 하는지의 여부에 따라 결정된다. 만일 오늘 작업 이후, 내일 작업 이전에 교통통과가 없다면 수직버트 조인트(vertical butt joint, 그림 3 참조)를 설치할 수 있다. 그러나 그렇지 않다면 교통통과를 위한 경사진 조인트(tapered joint, 그림 4 참조)를 설치하여야 한다. 횡방향 조인트가 설치되는 부분까지 페이버는 일정한 속도를 유지하여야 하며 스크리트(인두판)앞에 놓이게 되는 혼합물의 물량을 일정하게 유지하며 스크리트에 작용하는 힘과 그 방향을 일관성 있게 유지하는 것이 아주 중요하다. 현장에서 아주 빈번하게 발생하는 문제점은 혼합물 수송의 문제로 페이버의 흡퍼에 혼합물의 물량이 없게 되면 그 위치에서 횡방향 조인트를 적절하게 설치하여야 한다.

이런 경사진 조인트의 이점은 다짐장비가 조인트의 가장자리를 손상시키지 않고 포장체로 올라설 수 있다는 것이다. 그러나 이런 종류의 조인트는 결국 새로운 포장작업이 시작되면 제거되어야 하므로 결국 임시적인 기능을 하는 것이다.

이론적으로는 횡방향 조인트를 다질 때는 다음의 그림 6에서처럼 교통의 직각방향으로 다지며 물러의

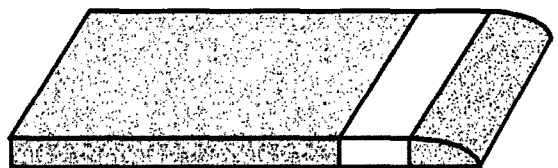


그림 3. Vertical Butt Joint

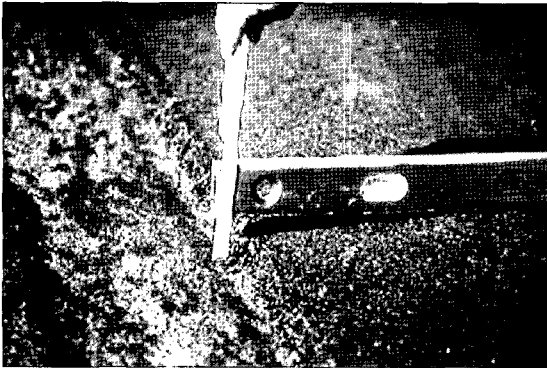


그림 4. Tapered Joint

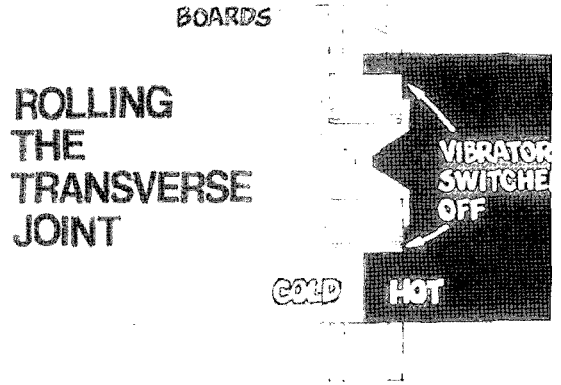


그림 6. 횡방향 조인트의 이상적인 다짐방법

Papered Transverse Joint

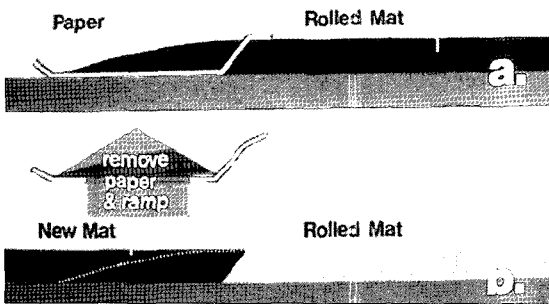


그림 5. 종이를 사용한 횡방향 조인트 처리법

진동이 없어야 하고 롤러가 포장면으로 올라서거나 내려올 때 경사진 각목(runoff board)을 사용하여 종방향 조인트의 모서리를 보호해야 한다. 롤러가 포장면으로 올라가거나 내려올 때 주위의 교통과의 안전에 만전을 기해야 한다. 그러나 현장에서는 편위 상 종방향으로 다지는 경우도 많다.

4. 종방향 조인트

포장공사에서 첫 번째 차선을 시공할 때 종방향 조인트부에 장기 내구성에 영향을 미치는 중요한 두 가지 요인이 있다. 그 첫 번째는 페이퍼가 직선부를 잘 유지해서 다음에 옆 차선을 시공할 때 완벽하게 이음부를 형성하도록 하는 것이고, 두 번째는 첫 번

째 차선에 다짐작업을 수행할 때 비 구속된 면(unconfined edge)을 잘 다지는 것이다.

최근 들어 아스팔트 포장의 종방향 균열(longitudinal crack)의 문제가 상당히 심각하게 받아들여지고 있다. 특히 아스팔트 포장의 조기하중 중에 상당부분이 아스팔트 포장의 포설당시 페이퍼의 끝단에서 발생하는 콜드조인트와 이에 따른 다짐 부족 및 밀도의 감소가 심각한 정도에 이르고 있는 실정이다. 이런 종류의 균열은 여름철 강우 시에 포장면으로 물이 침투하게 되고 박리현상에 의하여 조기 포트홀의 발생으로 연결되게 된다.

2003년도 7월 전국 6개 지방국토관리청 시공현장의 품질조사에서는 몇 개의 대상현장에서 종방향 조인트부의 밀도변화를 현장밀도 측정장치인 PQI(Pavement Quality Indicator)를 사용하여 모니터링 하였다. 그 결과는 그림 7 에서 볼 수 있다.

이러한 포장면의 밀도의 불균형은 조기에 종방향 균열로 연결될 가능성이 아주 높으며 또한 여름철 우기에 포트홀로 연결될 가능성이 높아 심각한 대책이 요구되어진다. 4차선 이상의 신규 포장공사인 경우에는 2대의 페이퍼와 롤러를 양측에 배치한 Echelon paving 공법(그림 8 참조)을 사용하여 감소시킬 수 있으며, 불가능한 경우에는 종방향 포설 길이를 제한하고, 포장체의 온도가 내려가기 전에 조인트부를 다지는 등의 조인트 관리가 현장시공 관리차원에서 필요하다.

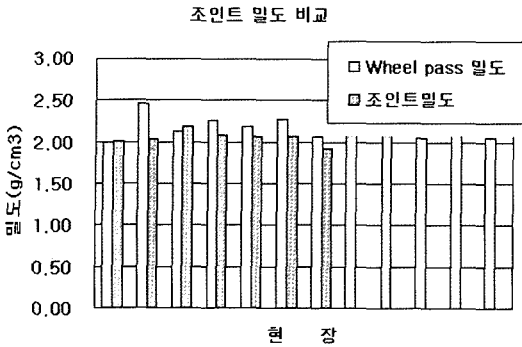


그림 7. 종방향 조인트 부위의 밀도 편차

일반적으로 미국의 주정부에서는 종방향 조인트부에 텍코팅을 요구하고 있지는 않지만, 몇 개의 주에서는 양쪽의 차선의 접착을 증진시키기 위해서 약간의 텍코팅을 요구하기도 한다. 특히 야간작업이나 품질 관리가 어려운 여건에서의 시공이라면 텍코팅이 필요하다. 그러나 중요한 것은 좋은 텍코팅 재료를 선택해야 한다는 것이다. 혹시라도 아스팔트의 용제가 들어있는 제품은 사용해서는 안 된다.

두 차선사이에 좋은 종방향 조인트를 유지하는데 중요한 것은 적당한 양의 아스팔트 혼합물을 overlap시키는 것이다. 일반적인 overlap 방법은 그림 9를 참조한다.

새로운 차선에 투입되는 아스팔트 혼합물의 두께는 골재입도에 따라 다르기는 하지만, 다짐작업에 의하여 일반적으로 6~25mm 정도 내려가므로 (thickness of rolldown) 그 정도를 예측해야 한다.

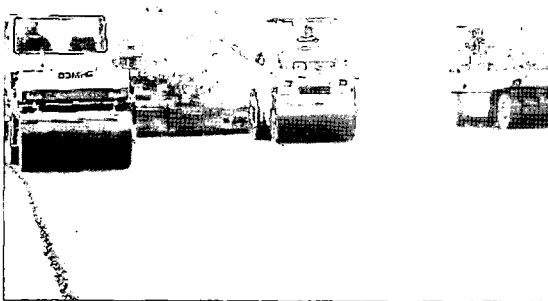


그림 8. 서울지방국토관리청의 이동-용인 현장 (시공사:삼성건설)에서 적용중인 Echelon Paving 공법

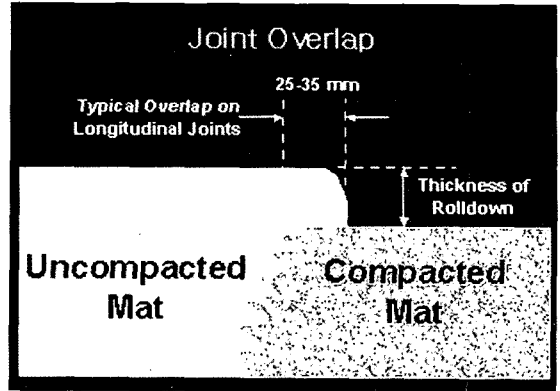


그림 9. 종방향 조인트의 일반적인 Overlap 방법

5. 현장품질증진을 위한 다짐작업

다짐작업은 현장의 포장 작업 중에서 포장의 장기 공용성에 영향을 미치는 가장 중요한 작업이다. 현재 국내의 아스팔트 포장 현장에서 이루어지고 있는 일반적인 포설 및 다짐작업의 관행은 상당부분 수정되어야 한다. 다음의 그림 10은 국내와 최근의 미국의 FHWA에서 실시하고 있는 다짐방법의 차이를 단편적으로 보여주고 있다.

일반적으로 국내는 1차 다짐에는 머케덤롤러를 4회 사용하며, 2차에는 타이어롤러를 10회 그리고 최종다짐에는 탠덤롤러를 4회 사용한다. 결국 각 지역별 시험포장의 의미는 사라지고 다짐장비나 재료의 특성 또는 기온의 변화에 따른 다짐장비와 공정의

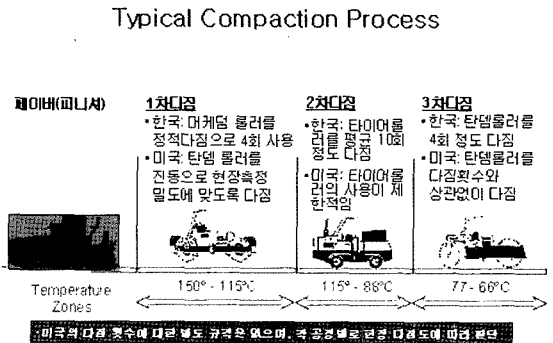


그림 10. 국내와 미국의 다짐공정의 비교

변화가 거의 무시되고 있는 실정이다. 그러나 미국에서는 1차 다짐에서는 진동 탠덤롤러를 사용하며 현장에서 밀도를 측정하여 시험포장 당시 설정된 목표밀도의 만족여부를 확인하므로 특별하게 2차다짐의 필요성이 없는 경우가 많다. 물론 평탄성확보를 위한 최종다짐은 탠덤롤러를 정적으로 사용한다.

6. 결론

도로나 공항포장에서 현장품질관리는 아스팔트 플랜트에서의 올바른 배합설계와 이를 위한 골재와 아스팔트 관리에서부터 시작되며 생산된 아스팔트 혼합물의 적절한 수송대책이 고려되어야 한다. 특히 수송과정에서의 골재분리와 아스팔트 혼합물의 온도편차는 포장면의 균질성과 중요한 관계가 있으므로 Material Transfer Vehicle(MTV)와 같은 장비의 도입이 절실한 실정이다. MTV(그림 11참조)는 트럭으로 수송된 아스팔트 혼합물을 재교반하는 동시에 가열장치를 사용하여 온도편차에 의한 다짐불량 문제를 획기적으로 개선할 수 있다.

배합설계 측면에서는, 아스팔트 혼합물의 체적은 96% 정도의 혼합물과 약 4% 정도의 빈 공극(Air void)을 갖도록 요구하고 있다. 이 의미는 생산된 아스팔트 혼합물을 시험실에서 Marshall 다짐기로 다져놓은 상태를 의미하고, 포장시공 현장에서는 롤러 작업으로 다짐이 이루어지므로 이보다 못 미치는 5%~6% 정도의 공극을 유지하기를 원한다. 만일 현장에서의 공극률이 8%를 넘으면 아스팔트 혼합물 내부의 공극은 서로 연결되어 포장체 내부로 투수가 이루어지게 되어 포트홀의 발생가능성을 증가시킬 수 있다. 만일 현장 포장체의 공극률이 3% 이하가 되면 추후에 교통하중에 의하여 발생할 수 있는 체적의 변형을 감당할 공간의 부족으로 소성변형이 발생할 가능성이 높아지게 된다. 이 두 다짐조건 사이

의 아스팔트 혼합물의 밀도의 비를 현장다짐도로 표시한다. 국내의 시방규정에서는 다짐도가 96% 이상이 되기를 요구하고 있다.

다짐도는 다음식에 의하여 구한다.

$$\text{Degree of Compaction} = \frac{\text{Density of Cores or PQI Measured}}{\text{Density of Lab. Specimens}} \times 100(\%)$$

Density of Laboratory Specimens는 날마다 생산되는 아스팔트 혼합물의 시료를 플랜트 시험실에서 정해진 횟수만큼 다짐하여 3개 이상 제작하고, 그 평균값을 사용하며 이를 그 날 시공한 구간의 기준밀도로 사용한다. Density of Cores or PQI Measured란 다짐도를 구하고자 하는 대상 지점에서 채취한 공시체의 밀도를 사용하거나 PQI에 의하여 측정된 값을 의미한다. 여기에서 PQI값은 시험포장시 그리고 시공 중간에 적당한 시기별로 현장코아의 밀도와 Calibration을 통하여 코아와 측정치와의 상관관계를 수립해야한다. 만일 시험포장에서 목표로 하는 Target density를 확보하였다고 현장에서 PQI를 이용하여 다짐횟수별 현장밀도의 증가를 Monitoring 하여 만족스런 현장다짐도를 얻었다면 그에 따른 다짐작업을 실시한다.

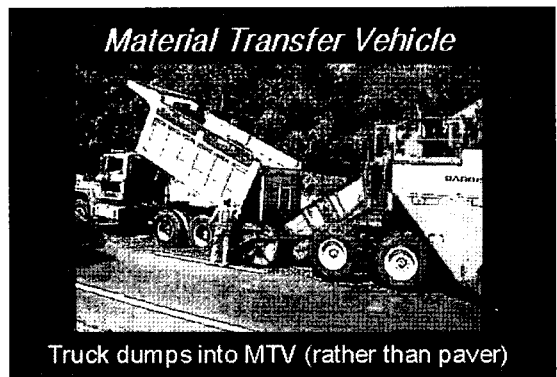


그림 11. 트럭과 페이머 사이에 위치한 MTV 모습