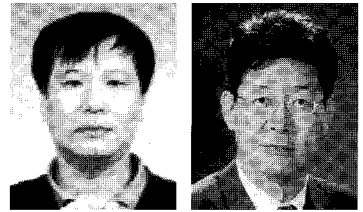


발리 기후변화협약에 따른 탄소 저감을 위한 도로포장기술



진 정 훈 | 정회원 · (주)도화종합기술공사 수석연구원
박 태 순 | 정회원 · 서울산업대학교 토목공학과 교수

1. 서론

근래에 세계적인 이슈로 떠오르고 있는 주제는 지구온난화에 대한 문제이다. 1992년 5월에 채택된 유엔기후변화협약(UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change)은 지구의 기후변화 원인으로 지목되고 있는 온실가스를 규제하기 위한 적극적인 국가 간의 행동방침을 언급하고 있다. “기후변화에 관한 정부간 패널(IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change)”를 설치하였으며, 우리나라도 1993년 세계에서 47번째로 가입하고 있다. 유엔기후변화협약에서는 지구의 기후변화 원인으로 지목되고 있는 온실가스를 배출하는 나라들로 선진국들을 구체적으로 언급하고 있다. 그러나 유엔기후변화협약의 부칙에서는 선진국들에 대한 직접적인 언급을 하고 배출을 억제하도록 하자는 사항으로 강제적인 규정은 없다.

1998년 채택된 교토의정서에서는 온실가스 방출을 제시한 기한과 나라별로 구체적으로 감축하거나 제한하자는 약간의 강제적 규정이 들어있다. 교토

의정서는 1997년 일본 교토에서 열린 기후변화협약 제3차 당사국총회에서 채택되었다. 교토 의정서에서는 지구의 온실가스에 대한 실질적 감축을 위하여 온실가스에 대한 배출량 중에서 55%를 차지하고 있는 선진 38개 국가들을 대상으로 제1차 의무 공약기간(2008~2012년)동안 1990년도 배출량 대비 평균 5.2% 감축을 규정하는 국제규약이다. 2005년 처음으로 발효된 교토의정서는 150개 국가들이 비준하였다. 우리나라도 2002년 교토의정서를 비준하였으며, 제1차 공약기간 동안에는 비부속서 국가로 분류되어서 감축에 대한 의무는 없다. 교토의정서에 따르면 기후변화협약 회원국 186개국 중 EU(유럽연합) 15개 회원국은 8%, 미국 7%, 일본은 6%의 온실가스를 줄여야 하지만, 미국은 자국의 국익과 맞지 않는다는 이유로 이에 대한 비준을 거부하고 있기 때문에 실제 온실가스 감축 규모는 1990년 기준으로 5.2%에서 1.8%로 축소되었다.

2008년 12월 발리에서 제13차 발리 기후변화협약 당사국총회가 열렸다. 2012년 이후의 온실가스 감축방향을 제시하는 발리 로드맵으로 매듭지어졌으

며, 2012년부터는 교토의정서에서 규정한 감축량보다 많아야 한다는 것을 협의했지만 구체적인 규정은 명시되지 않았다. 우리나라는 경제규모로는 세계 10위, 온실가스 배출량 9위, 석유소비량 6위로 선진국들과 비교할 경우 우리나라의 위상이 후발순위를 차지할 수 없는 상황이다. 따라서 우리나라도 이에 상응하는 문제에 대한 인식이 필요하며, 국가의 위상에 대한 제고가 필요한 시점에 서있다. 또한 우리 주변에는 지구온난화에 대한 영향을 직접적으로 느낄 수 있는 여러 사항들이 벌어지고 있다.

국내에서 나타나고 있는 지구온난화의 영향은 그림 1과 같이 IPCC(2007) 보고서에 의하면 지구의 평균표면온도는 과거보다 약 0.6℃ 이상 상승하였다. 이에 따라서 해수면의 높이도 상승하고 있다. 그러나 북반구의 적설량은 점차적으로 감소하고 있다. 이러한 세계적인 기후의 변화인 지구온난화의 영향이 서울에서도 나타나고 있다. 서울의 연평균기온의 변화가 그림 2와 같이 과거 100년전 보다 상승되고 있음을 알 수 있다. 다양한 지구온난화의 영향중에서도 국내에서 접할 수 있는 가장 큰 요소는 한강의 동결일수 축소 및 국내 연안의 어류생태변화로 난류성 어종들이 많아지고 있다는 것이다. 이러한 지구온난화의 영향에 따른 문제점을 극복하기 위해서는 도로분야에서도 다양한 접근이 필요하다.

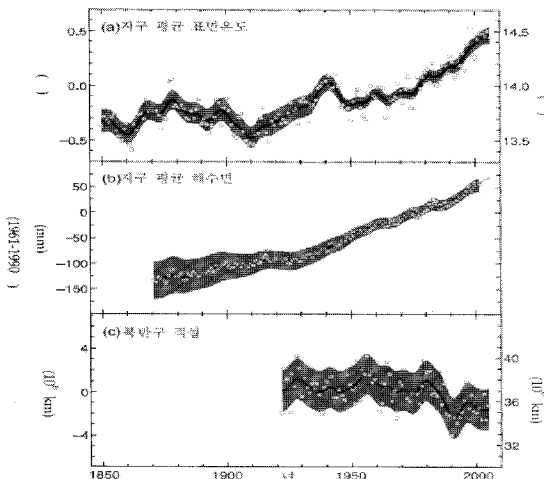


그림 1. 지구의 평균온도와 해수면높이 및 북반구 적설의 변화 (IPCC, 2007)

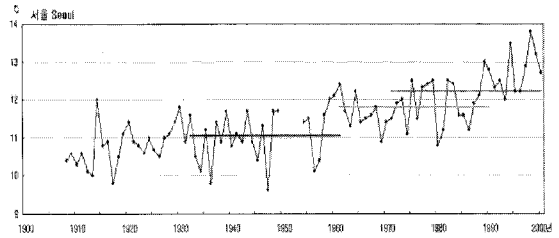


그림 2. 100년간 서울의 연평균기온의 상승

2. 에너지저감 도로포장기술

1970년대 이후 지속적으로 건설되기 시작한 국내의 도로는 2007년말(국토해양부, 2007) 고속도로 3,368km(2007)와 국도 13,832km(2007) 등 포장도로연장이 총 103,019km(2007)를 보유하게 되었다. 그러나 선진국들과 비교할 경우 아직도 1/6~1/3수준의 도로율을 가지고 있으며, 최소한 선진국 수준의 도로시설을 갖추기 위해서는 적어도 약 100,000km의 도로건설이 앞으로도 필요하다.

도로의 건설이후에 지속적으로 유지보수 및 관리를 해주어야 하는 것은 도로의 포장이다. 국내의 도로포장구조설계 및 시공 시 도로의 포장수명을 약 20년(아스팔트 포장은 10년 뒤 덧씌우기) 정도로 하고 있으며, 공용수명이 끝나면 재포장하여 수명을 연장시키는 방법을 사용하고 있다. 그러나 도로포장분야에서도 지구온난화에 따른 영향으로 국내에서는 아스팔트 포장의 조기손상이 1990년대 후반에 전국적으로 발생하여 이에 대한 연구를 실시하였다. 이러한 연구 성과로 인하여 국내의 도로포장기술의 발전은 과거에 비하여 많은 발전을 할 수 있는 계기가 되었고, 새로운 재료의 사용과 시공품질에 대한 개선이 향상되었다.

국내의 도로포장기술을 선진국과 비교할 경우 약간 부족하거나 선진국에 접근하고 있다. 과거에는 성장위주의 정책으로 인하여 도로의 양적인 팽창에 비중이 있었다면 이제는 새로운 기술의 접목을 통한 선진화된 질적인 도로포장기술의 발

전이 필요한 시점에서 있다. 또한 지구온난화에 따른 탄소저감과 도시의 열섬현상 등을 억제하기 위한 다양한 도로포장공법의 도입이 필요한 시점에 와 있다.

2.1 친환경포장

친환경 아스팔트 포장기술은 다양하며 일부는 국내에서 사용하는 것도 있지만 해외에서 주로 많이 사용하고 있는 기술들이다. 해외의 선진기술로는 다음과 같은 것들이 있다. 첫 번째로 골재와 아스팔트를 가열하지 않고 상온에서 제조와 시공이 가능한 상온아스팔트(cold mix)기술이다. 우리가 일반적으로 알고 있는 아스팔트 포장의 대부분은 플랜트에서 뜨겁게 생산된 아스팔트혼합물을 온도에 맞추어서 시공하는 것들이다. 그러나 상온아스팔트 포장은 상온플랜트(그림3)에서 아스팔트를 사용한 혼합물로 에너지의 소비가 적다. 외국에서는 그림

4와 같이 고급포장에 적용하지 못하고 있다. 상온 아스팔트에는 플랜트에서 대량으로 생산되는 혼합물 방식과 포트홀 복구를 위한 응급복구재로 나눌 수 있다. 국내에서는 상온아스팔트 플랜트가 상용화되었으며, 급속복수재료로 상온아스팔트를 많이 사용하고 있다.

두 번째로는 그림 5와 같이 아스팔트를 특수한 팽창실에서 압축공기와 함께 물을 분사하여 아스팔트 거품을 발생시켜 젖은 골재를 혼합하여 혼합물을 생산하는 폼드(foamed) 아스팔트 기술이다. 미국에서 많이 사용되는 기술로 그림 5와 같이 절삭후 그림 6과 같은 장비들이 1개의 팀을 이루어서 시공을 하며, 최종적으로는 그림 7과 같이 폼드아스팔트 포장이 완성된다. 국내에 소개되었지만 상용화되지 못하고 있는 에너지 절감 포장기술중의 하나이다. 국내에서는 현장가열재생아스팔트포장은 상용화가 되어서 사용하고 있지만 상온 재생 폼드 아스팔트포장은 상용화되지 못하고 있다.

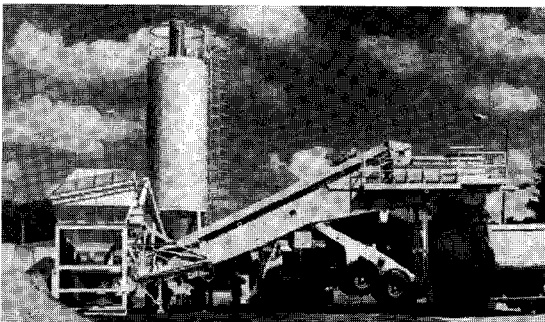


그림 3. 상온아스팔트 플랜트

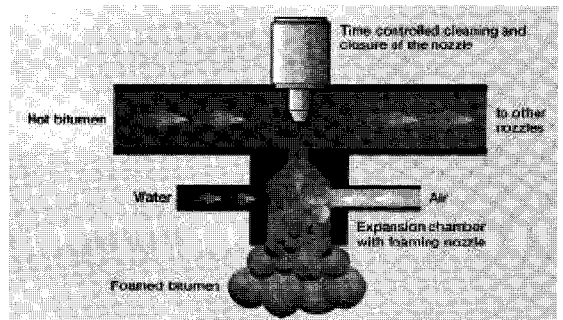


그림 5. 폼드 아스팔트 생산개요

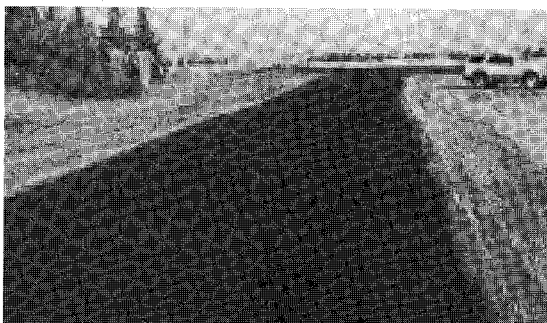


그림 4. 상온아스팔트 포장도로

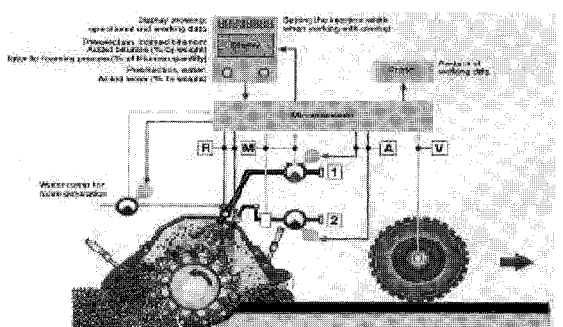


그림 6. 폼드 아스팔트 절삭 및 혼합

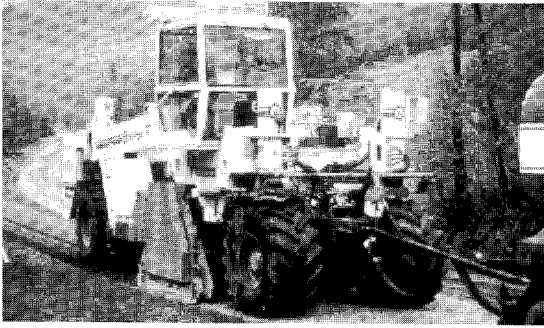


그림 7. 폼드 아스팔트 시공



그림 8. 폼드 아스팔트 시공 후

세 번째로 아스팔트 플랜트에서 생산할 때와 도로포장현장에서 다짐을 할 때 기존 가열아스팔트 포장에 비하여 약 30℃를 낮추어 시공이 가능한 중온아스팔트(warm mix 또는 semi hot mix) 기술이다. 1995~1996년 유럽에서 연구가 시작되었으며, 1997~1999년 유럽에서 처음으로 포장을 시공하였다. 2002년 미국의 NAPA(Nation Asphalt Pavement Association)에서 유럽투어를 통하여 소개되었다. 2003년 중온아스팔트와 관련된 기술에 대한 논의가 시작되었으며, NCAT(National Center for Asphalt Technology)에서 2005~2006년 중온아스팔트의 재료인 Aspha-min과 Sasobit, 그리고 Evotherm에 대한 연구가 시작되었으며 현재까지 모니터링을 실시하고 있다. 또한 NCAT에서는 Pavement Test Track을 그림 9와 같이 운영하고 있으며, 포장단면은 그림 10과 같이 시공하였으며, 현재도 운영중에 있다. 시험도로에는 그림 11과 같은 이층포설장비를 활용하여 아스

팔트를 포설하였으며, 개통 후 그림 12와 같은 트럭을 이용하여 지속적으로 공용시키고 있으며, 그림 9의 5개 지점에서 언제든지 도로의 상태를 볼 수 있는 카메라를 장착하여 인터넷을 활용하고 지켜볼 수 있게 하였다. 국내에서도 2009년 4월 원주 지방국토관리청 산하의 국도 38호선 영월방면으로 시험시공을 실시하였다. 중온아스팔트는 그림 14와 같이 상온아스팔트와 가열아스팔트의 중간에 위치한 아스팔트 혼합물이다. 그림 15와 같이 가열아스팔트의 포설 후 온도는 308°F(153℃)이지만, 그림 16과 같이 중온아스팔트의 포설 후 온도는 266°F(130.℃)이다. 두 혼합물과의 온도차이는 약 23℃의 온도차이를 보이고 있다. 중온아스팔트의 온도를 좌우하는 것은 표 1과 같은 첨가제들에 의해서 조절이 가능하다. 대부분의 첨가제들은 플랜트에서 생산될 때 플랜트믹스(plant mix)방식에 의해서 혼합된다.

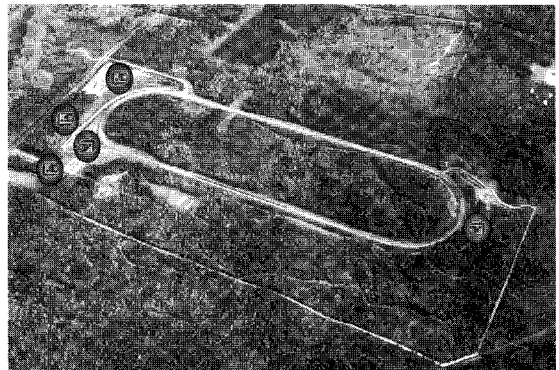


그림 9. NCAT Pavement Test Track

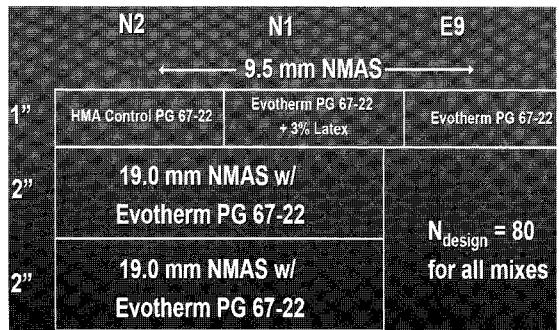


그림 10. 시험도로의 포장단면

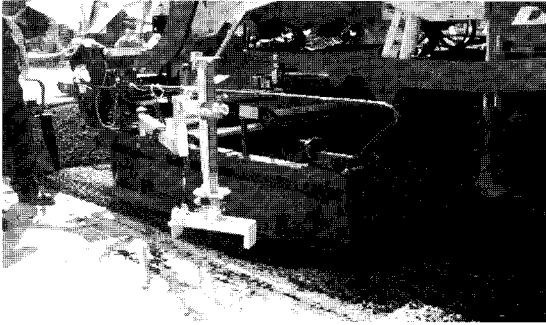


그림 11. 이층 포설 장비

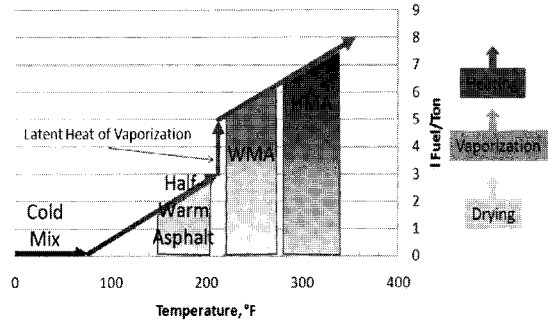


그림 14. 아스팔트의 구분



그림 12. 시험도로 개통



그림 15. 일반 아스팔트 포장의 온도

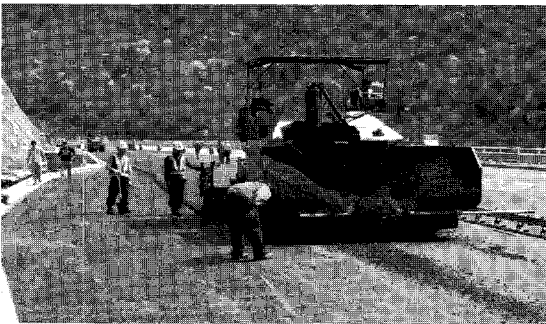


그림 13. 국내의 중온아스팔트 시공



그림 16. 중온아스팔트 포장의 온도

표 1. 중온아스팔트 첨가제 종류 및 온도저감효과

WMA Technology	Process Type	Decreases Production Temperatures by 17 to 28°C	Decreases Production Temperatures by More Than 28°C
Double Barrel® Green	Foaming	×*	×**
Evothem™	Chemical Additive	××	××
(LEA)Low Energy Asphalt	Foaming		××
Rediset™ WMX	Chemical Additive	××	×
REVIX™	Chemical Additive	×	××
Sasobit	Organic Additive	××	×
Synthetic Zeolite	Foaming	××	×
WAM-Foam	Foaming	××	××

*Frequently observed, **Observed

네 번째로 기존 포장에 태양광을 차단하는 페인트로 도포하여 아스팔트 포장 가열을 방지하여 표면온도를 약 10~15℃ 낮추고 열섬현상 억제가 가능한 태양광 차단포장공법(reflective coating pavement)이다. Tsuyoshi Kinouchi 등(2004)은 그림 17과 같이 도로포장면에 페인트를 사용하여 반사율을 증가시켜서 그림 18과 같이 코팅이 되어 있는 포장과 일반 포장과의 온도를 그림 19와 같이 여름철과 그림 20과 같이 겨울철에 비교하였다. 차단포장은 그림 21과 같이 일본의 도심지 포장에서 많이 사용되고 있다. Pomerantz 등(2000) 그림 22와 같이 포장의 표면 온도에 따라서 동일한 휠패스가 지나가더라도 높은 온도의 포장에서는 빠른 파손이 나타나는 것을 증명하였다. Hashem Akbari 등(2007)는 미국의 4개 도시의 표면 구성 비중 중에서 40%의 면적을 차지하고 있는 것이 도로이며, 도로표면에 차단공법을 적용할 경우 도시의 온도를 낮출 수 있다고 하였다.

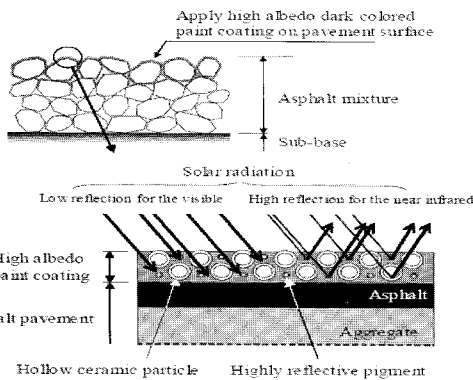


그림 17. 도로포장표면의 차단포장개요 (Kinouchi 등, 2004)

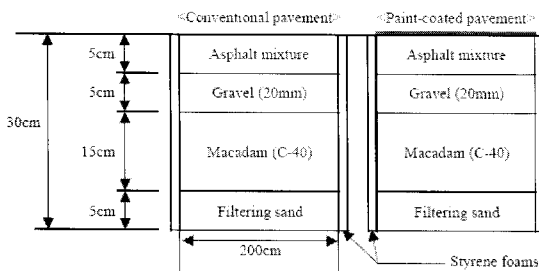


그림 18. 일반과 차단포장 비교 단면 (Kinouchi 등, 2004)

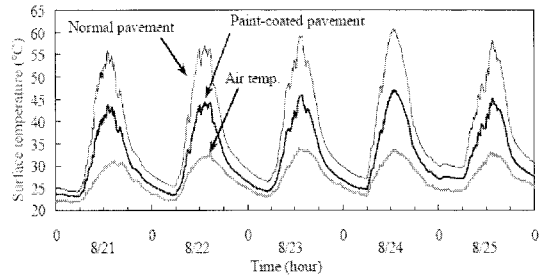


그림 19. 여름철 일반 및 차단포장온도 (Kinouchi 등, 2004)

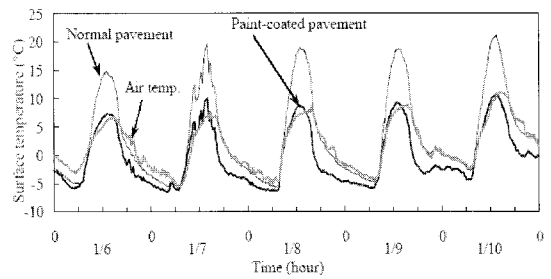


그림 20. 겨울철 일반 및 차단포장온도 (Kinouchi 등, 2004)



그림 21. 일본 긴자거리의 차단포장 (박태순, 2009)

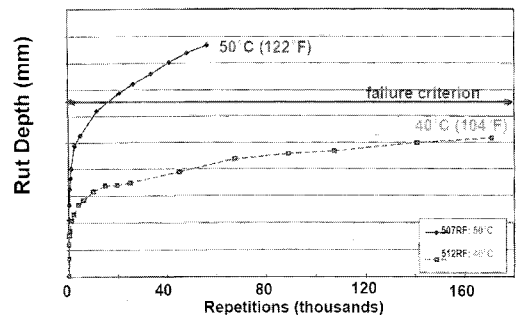


그림 22. 포장표면온도와 소성깊이 (Pomerantz 등, 2000)

다섯 번째는 우천 시 또는 물을 살수하여 포장 내부에 수분을 유지하는 보수성 포장(water retained pavement)이다. 보수성 포장은 반강성아스팔트(semi flexible asphalt)를 이용한 포장공법이다. 다공성 아스팔트 모체에 특수한 시멘트 그라우팅제를 사용하여 수분을 보수하는 기능을 갖춘 공법이다. 보수기능을 이용하여 여름철의 포장 온도를 하강시키고 주위 온도 및 습도 조절 기능을 갖춘 친환경 포장 공법이다. 국내에서는 서울시 버스 전용차선 공사 시 일부 노선에서 적용되었으나 그 효과가 크게 나타나지 않는 것으로 보고되고 있다. 그러나, 일본의 경우에는 큰 효과를 보였다고 보고되고 있다.

국내 기술현황을 살펴보면 상온 아스팔트 공법은 국내에서도 꾸준히 시도되고 있으며 주로 재활용 골재를 이용한 재활용공법으로 시도되고 있다. 폼드 아스팔트 공법은 1999년 국내에 도입되어 연구와 개발을 거쳐 특허 취득을 하였으며, 간이도로 또는 중간층 개량을 위한 공법으로 지속적으로 연구 개발되고 있는 공법이다. 중온아스팔트 공법은 당초 공사 기간이 짧은 한랭지 포장공사를 위하여 개발된 공법이다. 그러나 최근에는 교통 조기개방을 위한 도심지 포장공사와 제조 시 골재와 아스팔트의 가열 온도를 저감할 수 있어서 연료의 소모량과 이산화탄소 발생량이 저감되는 친환경 공법으로 연구되고 있다. 태양광 차단 포장공법은 포장면이 가열되는 현상을 코팅재료를 사용하여 방지하고 여름철의 표면을 온도를 내릴 수 있는 공법으로 일본을 중심으로 개발되었으며 국내에서도 재료 개발에 성공하였다. 보수성 포장은 국내에 도입된지는 오래되었지만 보수성보다는 소성변형부분에 많은 비중이 실려있으며, 버스전용차로에서 일부 사용되고 있는 수준이다.

2.2 친환경포장기술

국내에서는 아스팔트포장이 공용수명이 끝나게 되면 재포장을 하거나 절삭후 덧씌우기를 하고 있으며, 콘크리트 포장도로의 경우는 공용수명이 지나면 아스팔트 덧씌우기를 하고 있다. 재포장 및 절삭후

덧씌우기로 인하여 그림 23과 같이 많은 폐아스팔트 폐기물이 발생하고 있다. 따라서 기존도로의 포장을 재포장 및 덧씌우기를 하면서 발생하는 폐기물을 활용하여 순환골재로 활용하는 것을 법제화하여 활용도가 커졌다. 그러나 국내에서는 아스팔트 포장의 표층을 절삭한 폐기물을 순환골재로 다른 용도로 활용하고 있지만 선진국들에서는 신재아스팔트의 일부분에 반드시 순환골재를 사용하게 되어 있다. 국내에서도 서울 및 부산에서 순환골재를 활용하여 재생아스팔트 플랜트(그림 24)에서 신규아스팔트 혼합물을 생산할 때 일정부분을 사용하고 있다. 그러나 사용비중이 매우 낮으며 대부분의 지자체 및 발주기관에서는 이에 대한 사용비중이 낮은 편이다.

도로의 재포장 및 절삭후 덧씌우기 현장에서 발생하는 아스팔트 폐기물을 100%로 재활용하는 공법으로 국내에서는 현장가열재생아스팔트 공법(그림 25, 26)을 사용하고 있지만 여러 가지 문제점들로

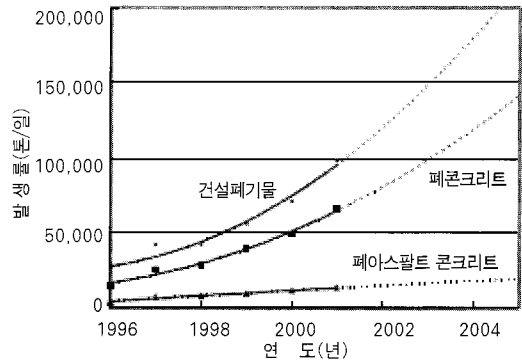


그림 23. 연도별 건설폐기물 발생추이 (정규동 등, 2003)

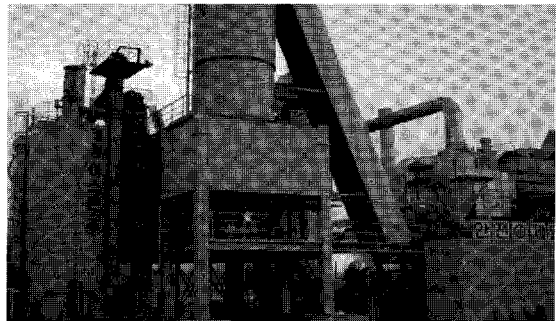


그림 24. 재생아스팔트 플랜트 (정규동 등, 2003)

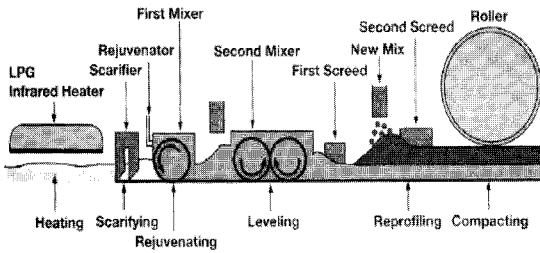


그림 25. 현장가열재생아스팔트공법 개념도

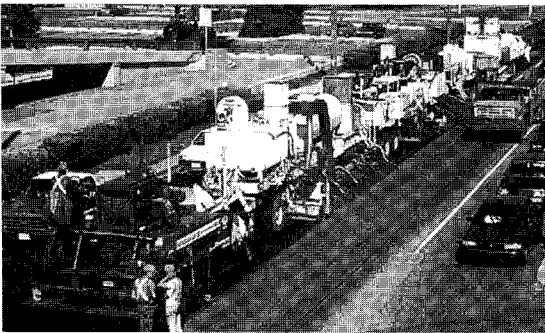


그림 26. 현장가열재생아스팔트공법

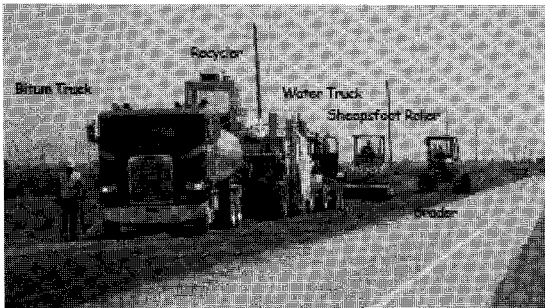


그림 27. 콜드 폼드 아스팔트 시공

인하여 활성화되고 있지 못하고 있다. 해외에서는 콜드밀링에 의한 현장재생아스팔트 공법이 있지만 국내에서는 분진발생이 크고 품질이 떨어진다는 이유로 활성화되지 못하고 있다. 일본에서는 콜드밀링에 의한 현장재생공법이 매우 활성화되어 있으며, 현장에서 아스팔트의 품질을 올리기 위한 방법으로 재생 첨가제의 품질개선과 재생첨가제질아스팔트 바인더를 활용하여 위커빌리티 및 아스팔트 포장의 품질을 올리고 있다. 또한 미국에서는 콜드 폼드 아스팔트공법(그림 27)을 활용하여 현장에서 발생하는 아스팔트 폐기물을 100% 활용하여 시공하고 있다.

3. 결론

세계적인 이슈가 되고 있는 지구온난화를 방지하기 위한 도로기술분야 기술에 대하여 살펴보았다. 국내·외적으로 에너지 저감을 위한 다양한 포장기술과 포장공법들이 개발되고 있으며 이에 대한 상용화를 위하여 많은 연구와 노력을 기울이고 있다. 국내에서도 다양한 에너지 저감 포장공법들이 개발되고 있으며, 일부에서는 이미 도입되어 사용하고 있다. 그러나 국내에서는 활성화되지 못하고 있다. 탄소저감을 위한 도로포장기술 및 공법들이 국내기술력에 의하여 개발될 경우 최소한 국내 시장에서 검증을 받을 수 있는 제도적인 시스템과 활성화를 위한 제반조건들이 조성되어야 할 것이다. 이러한 기반들이 조성되면 우리나라의 기술력으로 세계적인 기술로 성장할 수 있을 것이라고 사료된다.

참고 문헌

1. 박태순(2009), 저탄소 녹색포장 기술의 현황과 미래, 아스콘협회
2. 정규동 외 2인(2003), 건설폐자재 재활용 잠정지침 중 페이스팔트 콘크리트 재활용 방법 소개, 한국도로교통협회
3. Hashem Akbari and Surabi Menon(2007), Global Cooling: Effect of Urban Albedo on Global Temperature, 2 of Rosenfeld's Presentation at Erice.
4. John D' Angelo, et al.(2008), Warm-Mix Asphalt European Practice.
5. Melvin Pomerants et al.(2000) Cooler Reflective Pavements Give Benefits Beyond Energy Savings : Durability and Illumination. University of California.
6. Olof Kristjansdottir(2006), Warm Mix Asphalt for Cold Weather Paving, University of Washington.
7. Tsuyoshi Kinouchi et al.(2004), Development of Cool Pavement with Dark Colored High Albedo Coating. Fifth Conference on Urban Environment.