

시멘트 콘크리트 포장의 발전을 위한 국내외 콘크리트 포장의 시공 및 배합에 대한 검토 (I)

국내 콘크리트 포장 배합특성



윤 경 구 | 정회원 · 강원대학교 공과대학 토목공학과
박 철 우 | 정회원 · 강원대학교 건설공학부 토목공학전공
한 승 환 | 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원
홍 승 호 | 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원

1. 서론

국가 인프라 구조물 중 중요한 위치를 차지하는 국내 도로의 총 연장은 102,293km이며 이 중 78.6%의 도로가 포장되어 있다. 국내의 최근 5년간을 기준으로 한 건설교통부에서 발행된 도로현황조사에 따르면 우리나라 포장도로의 14.4%가 시멘트 콘크리트로 포장되었으나 중차량이나 교통량이 많은 고속국도의 경우 약 59.9%, 특별·광역시도의 39.1%가 시멘트 콘크리트로 포장되었다. 표 1에 나타난 바와 같이 고속국도는 약 3,000km가 건설되어 있는 것으로 나타났으며 이중 시멘트 콘크리트 포장이 약 60%인 1,800km가 건설되어 있다²⁾. 국내 고속도로에서 시멘트 콘크리트 포장 건설은 1980년대부터 본격적으로 시작되어 지속적으로 건설이 증가하여 왔으며, 국가기반시설은 지속적으로 증가할 것이다. 이에 따라 고속국도의 건설 역시 지속적으로 증가할 것이며, 포장의 형식은 현재의 시멘트 콘크리트 포장이

차지하는 수준을 유지할 것으로 예상된다. 그림 1은 건설교통부의 도로정책 추진방향을 나타내고 있으며, 빠른 도로, 튼튼한 도로, 편리한 도로, 인간중심적 도로 건설을 목표로 하고 있다. 현재 그림 2와 같이 건설교통부의 정책추진 방향은 2020년까지 남북 7개축 및 동서 9개축의 격자형 국가간선망(6,160km)을 구축하는 계획에 따라 2010년까지 4,000km 수준으로 확충할 예정이며, 2010년까지 4차로 이상의 국도 비율을 34%(2003년)에서 50% 이상으로 확충시켜 지역간 도로망의 양적·질적 수준을 제고시킬 계획이다³⁾.

고속국도에 건설된 시멘트 콘크리트 포장의 형식은 대부분 철근 보강이 없는 무근 줄눈 콘크리트 포장이다. 현재 건설되고 있는 대부분의 시멘트 콘크리트 포장도 무근 줄눈 콘크리트 포장으로 건설되고 있다. 포장의 형식으로 시멘트 콘크리트 포장은 아스팔트 포장과 비교하여 장기적인 관점에서 우수한 공용성을 보이는 것으로 보고되었고, 아스팔트 포장은 장

표 1. 도로 및 포장 현황

(단위 : km)

구 분	2001년	2002년	2003년	2004년	2005년	포장 연장	비율 (%)
고속국도	2,637	2,778	2,778	2,923	2,968	2,968	100
일반국도	14,254	14,232	14,234	14,246	14,224	13,846	97.3
특별·광역시도	17,810	18,224	17,130	17,371	17,506	17,408	99.4
지방도	15,705	17,084	17,485	17,476	17,709	13,989	79
시도	17,533	20,017	21,683	24,539	25,820	17,224	66.8
군도	23,458	23,702	23,942	23,723	24,065	13,132	54.5
계	91,396	96,037	97,252	100,278	102,293	78,587	76.8

정책기조 빠르고, 튼튼하고, 편리한, 인간중심의 도로

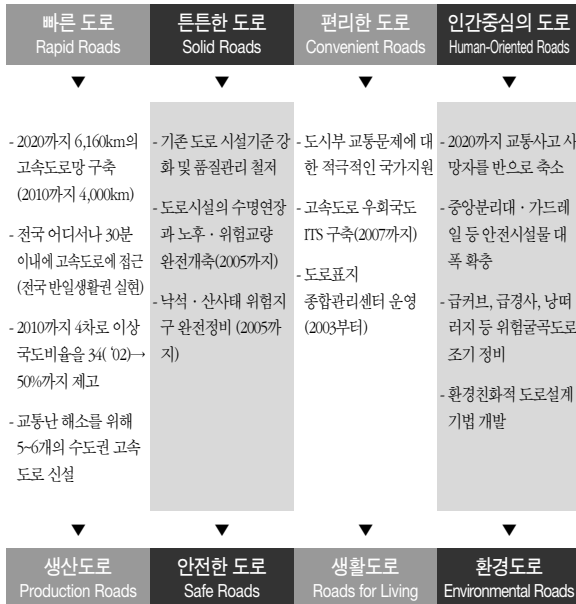


그림 1. 건설교통부의 도로 정책추진 방향^[3]

기적으로 시멘트 콘크리트 포장에 비하여 내구성이 취약한 것으로 보고되었다⁵⁾. 하지만, 최근 아스팔트 포장 분야에서는 그 동안 많은 연구를 통하여 기능성 및 내구성이 향상된 재료들이 많이 개발되어 장기적으로 내구성이 우수하고, 기능성이 향상된 포장들이 현장에 성공적으로 적용됨으로써 그 동안 아스팔트 포장의 취약점이 많이 극복된 것으로 홍보되고 있다.



그림 2. 장기 전국 간선도로망 체계 구성도¹⁾

이로 인해 그 동안 시멘트 콘크리트 포장이 많이 건설된 고속국도에서도 점차적으로 기능이 향상된 아스팔트 포장의 채택이 높아지고 있는 실정이다⁶⁾.

현재 고속국도에서 시멘트 콘크리트 포장이 60% 정도를 차지할 정도로 많이 건설되었으나, 시멘트 콘크리트 포장의 공정 특성상 많은 부분이 장비에 대한 의존성이 높기 때문에 그 동안 장비의 성능 향상으로 인하여 시공 기술은 높아 졌으나 품질관리 및 시멘트 콘크리트 포장의 특성을 분석하기 위한 연구가 원활하게 수행되지 못함으로 인해 최근 시멘트 콘크리트 포장에서는 많은 문제점들이 부각되고 있는 실정이다⁴⁾. 최근에 발생되고 있는 시멘트 콘크리트 포장의 문제점으로는 노후된 시멘트 콘크리트 포장의 보수방법 선택의 부족, 건설된 후 조기파손 문제, 사용재료의 저급화로 인한 파손 발생이 빈번해 지고 있는 실정이다. 이로 인해 시멘트 콘크리트 포장의 장기적인 공

용 수명을 제공하지 못하고 있으며, 많은 유지관리비용이 투입되고 있는 실정이다.

이러한 문제점들을 극복하기 위하여 외국 각국에서는 시멘트 콘크리트 포장의 성능 향상을 위하여 다양한 형태의 연구를 진행 중에 있다. 유럽에서는 1980년대부터 40~60년의 장수명을 바탕으로 한 도로포장의 설계 및 시공이 이루어졌다. 이것은 2층 포설기법 및 섬유보강 콘크리트의 사용 등을 통한 고강도 고성능 시멘트 콘크리트 포장의 시공이 한 예가 될 수 있다. 또한, 변단면 두께 도입 및 슬래브 확폭, 주행차선에 다웰바를 집중적으로 배치, 배수성 포장 및 배수성 보조기층 도입 등 효율적인 포장체의 단면 설계 및 기능성 포장 등도 시멘트 콘크리트 포장 기술발전의 실례라 할 수 있다. 대표적으로 벨기에의 경우, 시멘트 콘크리트 포장에서 고강도 콘크리트 배합을 일반적으로 사용하고 있으며, 90일 최소압축강도는 55MPa이며, 평균 압축강도는 70MPa를 사용하고 있다. 일반적인 휨 강도는 평균적으로 7.5MPa로 사용하고 있으며, 물 - 시멘트(W/C) 비는 0.40~0.45를 사용하고 있다. 이러한 시멘트 콘크리트 포장의 사용에 따른 내구성에 관한 결함은 최근까지 거의 관측되지 않고 있으며, 줄눈부에서의 스폐링 결함도 발견되지 않고 있다. 이처럼 벨기에의 포장 성능이 좋은 것은 단위 시멘트 양이 높은 고강도 콘크리트의 특성을 잘 활용한 것으로 판단된다. 아울러 벨기에에서는 양질의 양생제(약 200g/m²)를 살포하여 품질관리에 만전을 기하는 것이 고내구성 포장 제품 확보에 일조하고 있다고 판단된다¹⁵⁾.

미국에서는 20년 내구수명에 바탕을 둔 설계에서 탈피하여, 1996년 이후 연방도로청(FHWA)과 15개 주와의 기술지도 및 협의 하에 장수명을 위한 고성능 시멘트 콘크리트 포장의 시공기술을 계속적으로 발전시켜오고 있다¹⁵⁾. 이에 대한 세부내용으로는 (1) 섬유 등 기타 신소재 사용을 통한 포장용 고성능 콘크리트 배합 기술개발 (2) 건조수축이 적고 강도가 향상된 고내구성 콘크리트 제조기술개발 (3) 배합시간의 변화, 새로운 종류의 콘크리트 믹서의 개발

및 사용을 통해 시공방법 개선 및 평가 (4) 2층 포설을 통한 고성능 시멘트 콘크리트 포장 시공기술 개발 : 설계법 및 시공장비 개발 (5) 슬립폼 페이퍼 포설장비의 진동다짐 능력 등 장비의 성능에 따른 초기 블리딩 등 품질관리에 관한 실용화 연구 (6) 고성능 콘크리트의 사용을 통한 유지관리가 필요 없는 시멘트 콘크리트 포장 기술개발 (7) 성능에 기초한 시방서의 작성 (8) 60년 장수명 무근 시멘트 콘크리트 포장 시공기술개발 등을 예로 들 수 있다.

일본에서는 88년에 일본 건설성의 고성능 콘크리트 개발 5개년 연구지원 사업을 필두로 시공성 향상을 위해, 고유동성 및 고강도 콘크리트 배합 및 시공 기술개발에 초점을 두었다. 고성능 콘크리트를 도로 포장에 적용한 사례는 많지 않지만, 고기능성 시멘트 콘크리트 포장의 개발에 집중적인 연구 및 시공을 통하여 저소음, 배수성 및 반강성 포장 등을 실용화하였다.

위와 같이 시멘트 콘크리트 도로포장의 성능향상을 위하여 외국에서는 많은 노력을 하고 있으며, 국내에서도 시멘트 콘크리트 포장의 장점인 장기적인 공용성 보장을 위한 고성능 시멘트 콘크리트 포장 건설 가능성을 모색하고, 주행성 및 안전성 향상을 통해 국가 인프라 구조물인 도로의 기능성을 향상시킬 필요가 절실하다. 본 기사는 국내의 시멘트 콘크리트 포장의 발전을 위하여 국내외의 시멘트 콘크리트 포장의 시공 및 배합에 대하여 심도있는 고찰을 통하여 시멘트 콘크리트 포장의 사용을 확대하고 성능을 향상시키는 데 일조하고자 한다. 본 기사는 총 3편의 시리즈로 구성하여 그 제목은 “시멘트 콘크리트 포장의 발전을 위한 국내외 시멘트 콘크리트 포장의 시공 및 배합에 대한 검토”이며 각 기사의 부제는 다음과 같다.

- (I) 국내 시멘트 콘크리트 포장 배합특성
- (II) 시공특성 분석 및 개선방안
- (III) 유럽형 고성능 시멘트 콘크리트 포장 배합 특성 분석

2. 국내 시멘트 콘크리트 포장 배합특성 분석

최근 국내 일부 시멘트 콘크리트 포장 구간에 알카리-골재반응, 표면 스케일링, 줄눈 스폴링 등 내구성과 관련된 파손이 발생하여 이에 대한 대책을 마련해야 할 필요성이 크게 대두되고 있다. 이러한 파손 원인으로서는 시멘트, 골재 등과 같은 콘크리트 재료의 품질저하, 습염식 제설방법에 의한 가혹 환경 조성, 콘크리트 배합 자체의 문제점 등에 기인하는 것으로 연구 보고 되고 있다. 본 연구에서는 국내 시멘트 콘크리트 포장 배합의 현황과 문제점을 분석하고자 한다.

2.1 국내 콘크리트 배합기준

경화 전 시멘트 콘크리트 포장이 갖추어야 할 사항으로는 슬립폼 페이버로 시공해야 하기 때문에 알맞은 작업성을 지녀야 하고 재료분리를 일으키지 말아야 한다. 또한 작업장과 콘크리트 배치플랜트 사이의 운반거리를 고려하여 슬럼프 손실이 적어야 하고 온도에 대한 영향을 적게 받아야 한다. 특히 초기 수축 균열에 대한 적당한 저항성을 지니고 있어서 줄눈절단 전에 균열이 발생하지 말아야 한다.

경화 후의 콘크리트는 빈번한 차량하중이 통과하기 때문에 큰 마찰저항성을 지녀야 하고, 교통환경오염에 대한 화학적 저항성을 지녀야 한다. 특히 포장 콘크리트는 포설 된 후에 넓은 면적이 환경에 직접 노출되어서 온도와 물 등의 노출 조건에 대한 영향을 크게 받으므로 동결융해에 대한 저항성도 함께 지녀야 한다.

포장 콘크리트는 보통 포틀랜드 시멘트를 이용하여 배합 시공하며 시멘트 콘크리트의 설계 기준 휨강도는 4.5MPa를 기준으로 하고 있다. 한국도로공사의 2005년 시멘트 콘크리트 설계기준 배합표에 따르면 포장용 콘크리트 배합의 기준은 28일 휨강도 4.5MPa 이상, 단위수량 150kg 이하, 굵은골재 최대 치수 32mm 이하, 슬럼프값 2.5cm 이하 및 연행공기량 3~6% 등이다. 이의 시방배합표는 표 2와 같다.

표 2. 포장용 콘크리트 배합

(단위 : m³ 당)

	설계 기준 강도 (MPa)	골재 최대 치수 (mm)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	단위수량 (kg)	시멘트 (kg)	W / C (%)	S / a (%)	잔골재 (kg)	굵은골재 (kg)	AE 감수제 (g)
포장	휨강도 4.5MPa	32	4-6	3-6	151	336	45	38	678	1162	504
빈배합	압축강도 5.0MPa	40	-	-	125	158	-	33	702	1448	-

2.2 한국도로공사 콘크리트 포장 배합특성 분석

한국도로공사의 시멘트 콘크리트 포장은 1980년대에서부터 시작하였으며 이의 변천사는 표 3에 정리한 바와 같이 크게 6차배합(초기배합 포함)으로 구분할 수 있다. 이러한 변천사를 살펴보면 경제성 및 현장작업성에 근거한 개정작업을 진행한 것으로 알 수 있다. 표 4는 한국도로공사의 고속국도 현장의 시험검토에 의한 배합사례를 나타내고 있다. 이러한 표들로부터 알 수 있는 사실은 콘크리트 배합의 단위 시멘트량이 지속적으로 감소하였다는 것이다.

2.3 국내 고속도로별 시멘트 콘크리트 포장 배합 특성

국내 시멘트 콘크리트 포장에 대한 배합 특성을 분석하기 위하여 1987년 중부고속도로부터 2004년 준공된 대구-포항고속도로 노선에서 사용된 시멘트 콘크리트 포장배합을 대상으로 그 특성을 분석하였으며, 지난 17년간 건설된 시멘트 콘크리트 포장에 적용된 배합특성 검토를 통해 국내 시멘트 콘크리트 포장의 성능 향상방안을 모색할 수 있을 것으로 예상된다.

2.3.1 1987년 중부고속도로 시멘트 콘크리트 포장 배합 특성

제1중부 고속도로는 1985년 4월부터 건설이 시작되어 1987년 12월 준공된 노선이다⁷⁾. 중부고속도로 시멘트 콘크리트 포장에 적용된 배합은 표 5에서 보는

표 3. 한국도로공사 시멘트 콘크리트 포장 배합 변천현황

구 분 (개정연도)	설계 강도 MPa	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	단위 수량 (kg)	시멘트 (kg)	잔골재 (kg)	굵은 골재 (kg)	AE 감수제 (%)	개정사유
초기배합 (1986)	4.5	3~5	3~6	153~170	356~378	595~694	1135~1272	0.03 (AE제)	중부선 시험배합
1차배합	4.5	4	3~6	156	348	687	1137	0.03 (AE제)	
2차배합 (1996)	4.5	4~6	4~6	151	336	678	1162	0.15	AE감수제 (도연품 17310-10846)
3차배합 (1998)	4.5	4~6	4~6	151	336	678	1162	0.15	인력포설배합추가 (도연품 19404-1331)
4차배합 (2002.4)	4.5	4~6	4~6	147	336	678	1162	0.30	용도별 최적배합 (배합 업무처리기준)
5차배합 (2002.10)	4.5	4~6	4~6	147	326	692	1122	0.30	용도별 최적배합 (도연제 15401-611)

표 4. 한국도로공사 현장 시험검토에 의한 배합 사례

구 분 (시공연도)	설계 강도 MPa	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	단위 수량 (kg)	시멘트 (kg)	잔골재 (kg)	굵은 골재 (kg)	AE 감수제 (%)	비 고
중부고속도로 (1986)	4.5	3~5	3~6	153~170	356~378	595~694	1135~1272	0.03 (AE제)	
영동고속도로 확장 (1997, 원주~월정)	4.5	4	3~6	138~163	349~393	654~815	1020~1193	0.15	일부 고유동화제
영동고속도로 확장 (1994, 신갈~원주)	4.5	4~6	4~6	148~163	344~354	663~733	1138~1185	0.15	
서해안고속도로 (1996, 인천~안산)	4.5	4~6	4~6	157	341~349	689~748	1097~1146	0.20	4, 5공구
서해안고속도로 (1996, 안산~안중)	4.5	4~6	4~6	150~157	341~347	669~734	1137~1181	0.15	
서해안고속도로 (2001, 당진~서천)	4.5	4~6	4~6	143~167	320~348	661~822	1022~1202	0.15	

것과 같이 W/C는 42%에서 최대 47%가 적용되었고, S/a는 31%에서 38%가 적용되었다. 시멘트 함량은 354kg/m³에서 최대 378kg/m³이 적용되었으며 평균 361kg/m³으로 배합설계된 것을 알 수 있었다. 이러한 배합의 미세한 변화는 각 공구별, 사용장비 및 기타 환경적인 요인에 의하여 최적배합을 도출하는 과

정에서 발생한 변화라 판단된다. 혼화제는 AE제만 적용되었으며 0.015%에서 0.06%가 적용된 것으로 조사되었다. 또한, 중부고속도로에서는 일부 구간을 대상으로 2종 중용열 시멘트가 적용되었다. 1종 시멘트는 1986년 5, 6, 8, 9 공구를 대상으로 적용하였으며, 2종 시멘트 1987년 포장을 대상으로 적용되었다.

표 5. 중부고속도로 시멘트 콘크리트 포장 배합 설계

공구	장비	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	W/C (%)	S/a (%)	W	C	F.A.	C.A.	AE (g/m ³)	AE명	시멘트당 (%)
						kg/m ³						
1	MSP-85	3~5	4	43	35	156	363	639	1,188	109	Legace AE-5	0.030
				40	30	148	368	569	1,305	111		
2	GP-2500	3~5	4	43	35	156	363	639	1,188	109	Legace AE-5	0.030
				42	32	156	368	588	1,255	110		
3	GP-3000	3~5	4	44	38	154	354	711	1,140	53	SR-AE	0.015
				43	37	160	370	684	1,151	56		
4	GP-2500	3~5	4	43	38	159	367	688	1,135	73	AEA20021	0.020
				45	38	161	358	700	1,131	71.6		
5	GP-3000	3~5	4	43	38	153	356	694	1,135	214	EDOCO #2002	0.060
				43	38	154	362	695	1,136	217		
6	GP-2500	3~5	4	43	31	153	356	565	1,272	142	SIKA AER	0.040
				41	31	150	366	569	1,272	146		
	SF-350	3~5	4	42	31	150	356	569	1,272	142	SIKA AER	0.041
41	31	150	366	569	1,272	146						
7	SF-450	3~5	4	44	34	155	356	615	1,206	71	하이너루	0.020
				45	30	155	348	518	1,214	70		
8	GP-2500	3~5	4	47	33	168	361	595	1,209	217	SIKA AER	0.060
				47	33	168	357	603	1,209	214		
9	SF-450	3~5	4	45	35	170	378	626	1,154	227	EDOCO #2002	0.060
				47	36	170	362	644	1,154	217		
평균						157	362	594	1,143	136		

표 6. 영동선 신갈-원주 확장 배합 설계

공구	장비	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	W/C (%)	S/a (%)	W	C	F.A.	C.A.	AE (g/m ³)	시멘트당 (%)
						kg/m ³					
1	GP-2500 SF-450	3~5	4	45	37	159	353	663	1,138	141	0.040
2	SF-450	3~5	4	44	38	157	353	681	1,128	71	0.020
3	SF-450	3~5	4	46	37	163	354	674	1,153	106	0.030
4	SF-450	3~5	4	42	38	148	352	684	1,135	106	0.030
5	SF-350 GP-4000	3~5	4	43	35	148	344	697	1,282	516	0.150
6	SF-350 GP-4000	3~5	4	45	38	155	344	689	1,145	688	0.200
7	SF-350 SF-450	3~5	4	44	38	151	344	714	1,185	516	0.150
8	SF-350 SF-450	3~5	4	46	40	162	352	733	1,081	528	0.150
9	GP-4000 SP-1600	3~5	4	46	41	163	354	733	1,076	531	0.150
평균						156	350	627	1,032	356	

2.3.2 영동선 신갈-원주 확장 시멘트 콘크리트 포장 배합 설계

영동선 신갈-원주 확장 구간은 1991년 9월부터 건설이 시작되어 1994년 12월 준공되었다. 영동선 신갈-원주 확장 구간에 적용된 포장 배합은 표 6에서 보는 것과 같다. 본 노선에서 W/C는 42%에서 46% 적용되었고, S/a는 35%에서 41%가 적용되었다. 시멘트 함량은 344kg/m³에서 354kg/m³이 적용되었다. 혼화제는 0.02%에서 0.2%가 적용되었으며, 혼화제가 0.03% 이하로 낮게 적용된 공구는 AE제만 적용된 것으로 판단되며, 0.15% 이상 적용된 공구는 AE감수제가 적용된 것으로 판단된다⁸⁾.

2.3.3 영동선 원주-월정 확장 구간 시멘트 콘크리트 배합 설계

영동선 원주-월정 확장구간 시멘트 콘크리트 포장은 1994년 10월부터 건설되어 원주-새말 구간은 1997년 12월에 준공되었고, 새말-월정 구간은 1999년 12월에 준공되었다. 본 구간에서는 표 7과 같은 배합이 적용되었다. 본선 토공부 시멘트 콘크리트 포장은 원주-새말 1, 2공구에만 적용되었다. 본 구간의 W/C는 43%, S/a는 37%와 40%가 적용되었다. 시멘트 함량은 356kg/m³이 적용되었다. 혼화제는 0.15%가 적용되었다⁹⁾.

2.3.4 서해안고속도로 구간별 시멘트 콘크리트 포장 배합 특성

서해안고속도로의 인천-안산 구간은 1994년 7월 준공되었고, 안산-안중 구간은 1996년 12월에 준공되었다. 사용된 시멘트 콘크리트 배합은 표 8에 나

표 7. 영동선 원주-월정 확장구간 배합 설계

구분	구간명	공구	준공년	장비명	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	W/C (%)	S/a (%)	kg/m ³				AE (g/m ³)	AE명	시멘트당 (%)
									W	C	S	A			
	구간	설계			4~6	4	45	37	151	336	678	1,162	1,008	AE 감수제	0.300
토공 구간	원주-새말	1	1997. 12.29	SP-850 GP-600	3~5	4	43	40	153	356	726	1,102	534	AE 감수제	0.150
"	원주-새말	2	1997. 12.29	SP-850 GP-600	3~5	4	43	37	153	356	684	1,159	534	AE 감수제	0.150
"	새말-월정	3	1999. 08.17	AP	3~5	4	0	0	0	0	0	0	0		0.000
"	새말-월정	4	1999. 08.17	인력	3~5	4	42	35	150	357	654	1,193	70	고 유동화제	0.020
"	새말-월정	5	1999. 08.17	인력	3~5	4	45	44	159	353	815	1,020	530	AE 감수제	0.150
둔내터널 3,300m	새말-월정	6	1999. 12	SP-850	3~5	4	45	35	163	362	630	1,158	543	AE 감수제	0.150
봉평터널 1,445m	새말-월정	7	1999. 12	SP-850	3~5	4	43	38	150	349	706	1,164	698	AE 감수제	0.200
진부1터널 2,095m	새말-월정	9	1999. 12	SP-850	3~5	4	41	37	149	363	678	1,150	545	고 유동화제	0.150
진부2터널 180m	새말-월정	9-1	1999. 12	SP-850	3~5	4	41	37	149	363	678	1,150	545	고 유동화제	0.150
진부3터널 604m	새말-월정	10	1999. 12	SP-850	3~5	4	43	43	155	358	793	1,044	537	고 유동화제	0.150

표 8. 서해안 고속도로 구간별 시멘트 콘크리트 포장 배합 특성

구간	공구	준공 년도	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	W/C (%)	S/a (%)	W	C	S	A	AE (g/m ³)	AE명	시멘트당 (%)
							kg/m ³						
인천-안산	4	1994.7	4	3~6	45	38	157	349	689	1,146	24		0.069
	5	"	4	3~6	46	41	157	341	748	1,097	23		0.068
안산-안중	설계		4	4	0	38		348	687	1,137	69		0.020
	1	1996.12	4	4	45	36	156	346	673	1,181	519	CONPLAST PA21	0.150
	2	"	4	4	44	37	150	341	693	1,176	512	LIGACE-UA	0.150
	3	"	4	4	45	37	156	347	682	1,141	521	PHOENIX-150	0.150
	4	"	4	4	45	39	157	347	722	1,137	521	LIGACE-UA	0.150
	5	"	4	4	45	37	156	347	689	1,156	694	PHOENIX-150	0.200
	6	"	4	4	45	36	156	347	669	1,171	694	MARBOS AEWR	0.200
	7	"	4	4	44	39	152	345	734	1,139	518	LIGACE-UA	0.150
	평균						155	346	695	1157			
당진-서천	설계		4	4.5	45	37	150	336	678	1,162	504		
	1	2001.9	4	4.5	45	41	155	348	736	1,067	1,044		
	2	"	4	4.5	46	44	153	333	805	1,030	1,000		
	3	"	4	4.5	47	41	159	335	762	1,078	838		
	4	"	4	4.5	44	37	144	327	704	1,202	981		
	5	"	4	4.5	50	45	167	334	822	1,022	501		
	6	"	2.5	4.5	44	39	150	338	713	1,133	1,014		
	7	"	2	4.5	42	36	143	343	661	1,200	686		
	8	"	4	4.5	47	40	150	320	752	1,121	960		
	9	"	2	4.5	44	36	149	340	673	1,186	1,020		
평균					39	152	335	736	1115	894			
서천-군산	1	1998.10	4	4.5	46	36	157	342	663	1,171	513	AE 감수제	0.150
	2	1998.10	4	4.5	44	37	150	343	682	1,164	515		0.150
	군산IC	1997.6	4	4.5	45	36	155	346	666	1,174	692		0.200
	평균						154	344	670	1,170	573		
무안-목포	24	1998.10	4	4.5	41	37	148	358	679	1,138	537	AE 감수제	0.150
	25	1997.12	4	4.5	39	37	138	350	695	1,197	525		0.150
	26	1998.10	4	4.5	44	38	153	344	699	1,132	516		0.150
	평균						146	351	691	1,156	526		0.150

타내었다. 당진-서천 구간은 2001년 9월 준공되었으며, 서천-군산과 무안-목포 구간은 97년과 98년에 준공되었다. 인천-안산 구간에서는 W/C는 45%, 46%가 적용되었고, S/a는 38%와 41%가 적용되었다. 시멘트 함량은 341kg/m³, 349kg/m³이 적용되

었다. 혼화제는 0.06%가 적용되었다^{10, 11)}.

안산-안중 구간에서는 W/C는 44%와 45%가 적용되었고, S/a는 36%에서 39%가 적용되었다. 시멘트 함량은 341kg/m³에서 348kg/m³이 적용되었다. 혼화제는 0.15%와 0.2%가 적용되었다. 당진-

서천 구간에서는 W/C는 42%에서 50%가 적용되었고, S/a는 36%에서 44%가 적용되었다. 시멘트 함량은 320kg/m³에서 348kg/m³이 적용되었다. 서천-군산 구간에서는 W/C는 44%에서 46%가 적용되었고, S/a는 36%에서 37%가 적용되었다. 시멘트 함량은 342kg/m³에서 346kg/m³이 적용되었다. 무안-목포 구간에서는 W/C는 39%에서 41%가 적용되었고, S/a는 37%에서 38%가 적용되었다. 시멘트 함량은 344kg/m³에서 358kg/m³이 적용되었다^{10, 11, 12)}.

2.3.5 천안-논산 민자 고속도로 시멘트 콘크리트 포장 배합 특성

천안-논산 민자 고속도로는 2002년에 건설되었다. 본 구간에서는 W/C는 43%에서 44%가 적용되었고, S/a는 37%에서 40%가 적용되었다(표 9). 시멘트 함량은 336kg/m³에서 341kg/m³이 적용되었다. 혼화제는 0.3%로 동일하게 적용된 것을 알 수 있다³⁾.

2.3.6 대구-포항 고속도로 시멘트 콘크리트 포장 배합 특성

대구-포항 고속도로는 2004년 12월에 준공되었다. 본 구간에서 W/C는 42%에서 45%가 적용되었고, S/a는 37%에서 44%가 적용되었다(표 10). 시멘트 함량은 322kg/m³에서 343kg/m³가 적용되었다. 혼화제는 0.15%에서 0.5%가 적용되었다¹⁴⁾.

표 9. 천안-논산 민자고속도로 시멘트 콘크리트 포장 배합 특성

공구	포장 장비	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	W/C (%)	S/a (%)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S (kg/m ³)	A (kg/m ³)		혼화제량 (g/m ³)	시멘트당 함량(%)
									32mm	19mm		
1	SP-1600	2.5	4.5	43	38	145	341	678	589	539	1,023	0.300
2	"	2.5	4.5	43	40	144	336	733	723	389	1,009	0.300
3	"	2.5	4.5	43	37	147	339	698	645	529	1,017	0.300
4	"	2.5	4.5	44	37	148	336	695	556	603	1,008	0.300
5	"	2.5	4.5	44	37	148	336	686	630	537	1,008	0.300
6	"	2.5	4.5	44	37	146	336	699	564	614	1,008	0.300
						146	337	698				

표 10. 대구-포항 고속도로 시멘트 콘크리트 포장 배합 특성

공구	포장 년도	슬럼프 cm	공기량 %	W/C %	S/a %	W kg/m ³	C kg/m ³	S kg/m ³	굵은골재 (kg/m ³)			혼화제량 (g/m ³)	혼화제명 (AE 감수제)	시멘트당 함량(%)
									32mm	25mm	19mm			
1	2004.4	2.5	4.5±1.5	43	44	146	341	813	686		354	1,710	이건설업	0.501
2	2004.3.	2.5	4.5	42	44	144	343	794	1,026			1,720	이건설업	0.501
3	2004.10.	2.5	4.5	44	44	148	335	836	405	325	314	1,680	이건설업	0.501
4	2004.5.	2.5	4.5	44	43	140	322	809	1,057			1,610	호스록코리아	0.500
6	2004	2.5	4.5	43	43	144	334	803	648		414		이건설업	0.000
7	2004	2.5	4.5	45	37	150	336	678	1,162			504	실크로드	0.150
8	2004	2.5	4.5	44	40	147	334	752	1,114			1,002	호스록코리아	0.300
9	2004	2.5	4.5	43	41	145	337	762	1,109			1,011	호스록코리아	0.300
						146	335	781						

3. 결론

현재 고속국도에서 시멘트 콘크리트 포장이 60% 정도를 차지할 정도로 많이 건설되었으나, 시멘트 콘크리트 포장의 공정 특성상 많은 부분이 장비에 의존적으로 그 동안 장비의 성능 향상으로 인하여 시공 기술은 높아졌으나 품질관리 및 시멘트 콘크리트 포장의 특성을 분석하기 위한 연구가 원활하게 수행되지 못함으로 인해 최근 시멘트 콘크리트 포장에서는 많은 문제점들이 부각되고 있는 실정이다. 이에 본 기사에서는 우리나라에서 1987년 중부고속도로부터 2004년 준공된 노선에 대한 17년간 건설된 시멘트 콘크리트 포장 배합의 변천 및 특성을 검토하였으며 특성에 대한 분석결과 다음과 같은 경향이 분석되었다.

- (1) 설계배합의 수정이 수차례 있었으며 이로 인하여 야기된 시멘트량의 감소가 내구성 측면의 검토 없이 이루어졌다. 특히, 최근 들어 현장에서의 충분한 검토 없이 설계배합에 근접한 획일적인 배합기준이 적용되고 있는 면이 있다.
- (2) 콘크리트의 성능에 가장 중요한 영향을 미치는 시멘트량의 감소가 최근 시멘트 콘크리트 포장의 내구성 저하에 부분적으로 기여한 것으로 판단된다. 또한, 골재의 품질 수급불안 및 품질확보 미흡, 그리고 습염식 제설에 따른 가혹조건 노출 등이 동반되어 장기적 품질확보에 문제점이 존재하는 것으로 판단된다.
- (3) 시멘트 콘크리트 포장 배합에서 시멘트 함량이 낮아지는 경향이 있는 것을 알 수 있었다. 1987년 준공된 중부고속도로에서 시멘트 함량은 $354\text{kg}/\text{m}^3$ 에서 최대 $378\text{kg}/\text{m}^3$ 이 적용되었으며 평균 $361\text{kg}/\text{m}^3$ 이 적용되었다. 1994년에 준공된 영동선 신갈-원주 확장 구간에서 시멘트 함량은 $344\text{kg}/\text{m}^3$ 에서 $354\text{kg}/\text{m}^3$ 이 적용되었다. 2001년 준공된 서해안고속도로 당진-서천 구간에서 시멘트 함량은 $320\text{kg}/\text{m}^3$ 에서 $348\text{kg}/\text{m}^3$ 이 적용되었다. 2004년 준공된 대구-포항 고속도로에서 시멘트 함량은 $322\text{kg}/\text{m}^3$ 에서 $343\text{kg}/\text{m}^3$ 가 적용되었다. 시멘트 함량은 중부고속도로와 비교하여 낮아지는 추세에 있으며

2000년대 이후에는 일부 구간에서 $58\text{kg}/\text{m}^3$ 의 차이가 발생하는 것을 알 수 있었다. 하지만, W/C비는 크게 변화가 없으며, AE감수제의 사용은 더욱 일반화되었다. 따라서 장기적인 내구성 성능에 영향을 미치게 되는 단위시멘트량은 감소하였으며 대신 타설시의 작업성 향상에 치중하여 배합의 변천이 이루어진 것으로 사료된다.

- (4) 시멘트 콘크리트 포장 배합에서 중부고속도로 이후 W/C 변화는 크지 않은 것을 알 수 있었다. 혼화제의 경우 중부고속도로에서는 AE제만 단독으로 사용되었으나, 1994년 영동선 신갈-원주 확장구간에서 AE제 단독인 경우 0.02%에서 AE 감수제인 경우 0.2%가 적용된 것을 알 수 있었으며, 1996년 준공된 서해안고속도로 안산-안중 구간에서는 AE 감수제가 주로 사용되는 것으로 조사되었다.

참고 문헌

1. 강제수, 도로계획과 설계, 도서출판 엔지니어스, 1998
2. 건설교통부 “도로현황조사(2005)”
3. 건설교통부 홈페이지(www.moct.go.kr)
4. 건설교통부 “한국형포장설계법 개발”
5. 윤경구, 최준성, 김도형, “시험도로건설과 한국 도로포장설계법 개발”, 도로포장공학회지, 제1권, 제1호, 1999.
6. 이길용, “고속도로 포장설계법 비교”, 한국도로공사, 1991.
7. 한국도로공사, 중부고속도로 건설지, 1988. 12.
8. 한국도로공사, 영동고속도로 신갈 - 원주 확장, 1995. 11.
9. 한국도로공사, 영동선 원주-새말 확장 건설지, 2000.
10. 한국도로공사, 서해안고속도로(인천 - 안산) 건설지, 1994. 12
11. 한국도로공사, 서해안고속도로(안산-안중) 건설지, 1997.11
12. 한국도로공사, 서해안고속도로(서천 - 군산, 무안 - 목포) 건설지, 1999.12
13. 천안 - 논산 고속도로주식회사, 천안 - 논산 고속도로 민간투자 시설사업 건설지, 2003.
14. 한국도로공사, 대구 - 포항 고속도로 건설지, 2005.
15. Report on the 1992 US Tour of European Concrete Highways, FHWA-SA-93-012, 1993.