

콘크리트 도로포장의 조기개통에 관한 연구

A Study on the concrete pavement for early traffic opening day

○ 임 장 덕 *

윤 원 근 **

Im, Chang Duck

Yun, Won Keon

The purpose of this report is to study the traffic opening day of concrete pavement. For this purpose this paper studies on the properties of various cement types which include the newly developed cement for the concrete pavement regarding the resistance to the chemical attack caused by de-icing salt and the durability of the concrete pavement. Especially, traffic opening day of concrete pavement are discussed on site.

1. 서 론

국내 도로포장 정책이 아스팔트로부터 콘크리트 포장으로 점차 확대 적용되고 있는데 이는 아스팔트에 비해 초기공사비가 약 10% 절감되며 (중교통경우 : 3000 대/일, 1 방향) 도로의 유지관리 비용도 크게 절감되므로 정부는 향후 2000년대까지 콘크리트 포장율을 8%까지 끌어올릴 계획을 하고 있다. 이는 콘크리트 포장율이 미국 52%, 영국 83%, 벨기에 36%, 서독 27% 등을 고려할때 장차 우리나라 포장율도 크게 신장되리라고 기대하고 있으나¹⁾ 콘크리트 도로포장에서 본래적으로 지적되고 있는 도로개통시기가 아스팔트에 비해 매우 늦어 정부고속도로와 같이 기존 아스팔트 위에 콘크리트로 재포장할 경우 콘크리트 양생기간 동안 도로가 차단되어 교통체증 및 각종 교통사고가 빈번히 발생되므로 도로개통시기를 현행 28일²⁾에서 14일 이내로 조기개통시킬수 있는 방안의 일환으로 국내 유통되고 있는 시멘트종류 5종류를 대상으로 콘크리트 도로포장시 요구되는 제반강도 특성 및 화학저항성 평가시험을 검토 하였으며 현장 실험을 통한 확대 적용 가능성을 확인 하였다.

* 상용중앙연구소 2차제철연구소실 책임연구원

** 한국도로공사 도로연구소 선임연구원

2. 시험개요

2.1 사용재료

국내에서 유통되고있는 시멘트 5종류 (1종, 2종, 준조강, 조강, 초조강)를 사용하였으며 사용 골재는 금강산 굵은골재와 잔골재로 이들 물리적 특성은 표 1,2와 같다.

표 1. 시멘트종류별 물리적특성

항목	종 류		압축강도 (kg/cm ²)								58 수포일	
	스 경	용 경	1일	3일	7일	10일	14일	21일	28일	7일	28일	
1종 시멘트	320	8:00	88	196	265	278	304	321	349	75.0	84.2	
2종 시멘트	385	9:00	59	137	192	207	228	262	312	66.2	73.0	
준조강시멘트	290	7:00	150	258	337	364	392	411	461	74.6	83.2	
조 강	240	8:15	189	347	398	408	428	478	483	82.1	98.4	
초조강	270	8:00	185	381	452	479	481	497	538	82.3	98.3	

표 2. 골재의 물리적특성

구분	항목	최대골재 치수(mm)	비 중 (g/cm ³)	공극률 (%)	단위중량흡수량 (kg/m ³)	공극률 (%)	조립율 (%)
골재	잔골재	5	2.60	0.95	1604	62.3	2.59
	굵은골재	25	2.59	1.23	1622	63.4	6.40

2.2 실험방법

1) 콘크리트 배합

정부고속도로 퇴역 - 주중영구간에 이용되고 있는 배합표본. 기존으로 공기량 및 슬럼프값이 각각 5±0.5%, 4±0.5cm 가 되기 위한 단위수량 및 공기연행제를 조절 하였다. 이들 배합설계표는 표 3과 같다.

표 3. 콘크리트 배합설계표

최대골재 지수(mm)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	단위재료량(kg/m ³)				
			시멘트	물	안규재	골운규재	AR계
25	4 ± 0.5	5 ± 0.5	345	(156)	697	1131	C x 0.03 (wt %)

2) 복수시험 제작

① 단열온도상승 시험

콘크리트 경화시 발생되는 발열온도를 adiabatic calorimeter 볼 이용하여 72 시간까지 누적온도를 측정하였다.

② 구속효과에 의한 균열시험

건조수축에 의한 균열상태를 관찰하기 위하여 그림 1과 같은 장치를 이용하여 대기조건에서 콘크리트를 양생시킨후 균열발생 시점과 균열폭을 측정 하였다.

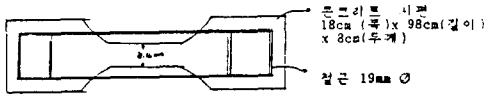


그림 1. 철근 구속균열 시험장치

③ 건조수축

콘크리트 건조수축은 KSF2424 에 준하여 시험 하였다.

④ 내화학적성

4% 염화칼슘용액내에 재령 14 일까지 수중 양생시킨 10x10x40cm 의 각주공시체를 온도 -15℃ ~ +4℃로 동결융해시키면서 동해비해도를 내구성 지수로 판단하였다.

⑤ 내마모성

표면마모시험기로 150 x 5cm (높이) 의 콘크리트 공시체를 제작한후 강구 및 연마제에 의한 단위면적당 마모량을 측정 하였다.

3. 결과 및 검토

3.1 (주)갑철강관(기)경통용 시멘트산정시험

1) 압축강도 및 휨강도

도로공사에서 사용되고 있는 배합표를 기본으로 배합설계후 측정결과는 표 4, 5 와 같이 준조강시멘트의 휨강도는 재령 10 일에서도 도로교통 시험인 50kg/cm² 의 휨강도를 발현하므로 초기경통가능성을 나타냈다. 또한 조강및 초조강시멘트의 경우 초기강도발현은 우수하나 후기강도는 1중시멘트의 강도발현과 동등한 수준을 나타내었다.

표 4. 시멘트종류별 콘크리트 압축강도 측정

시멘트 종류	재령	압축강도 (kg/cm ²)						
		3	7	10	14	21	28	91
1 중	1 중	199	253	325	357	357	393	398
	2 중	146	230	277	305	346	382	385
준조강	1 중	248	337	363	377	379	423	427
	2 중	229	322	334	368	374	396	407
초조강	1 중	237	322	346	352	375	394	399
	2 중							

표 5. 시멘트종류별 콘크리트 휨강도 측정

시멘트 종류	재령	휨강도 (kg/cm ²)						
		3	7	10	14	21	28	91
1 중	1 중	34	39	42	49	52	55	55
	2 중	27	35	42	46	48	52	59
준조강	1 중	37	45	50	55	58	58	61
	2 중	36	43	47	53	55	56	56
초조강	1 중	37	41	42	47	53	55	54
	2 중							

2) 콘크리트 단열온도 시험

콘크리트 단열온도 상승은 준조강시멘트의 경우 2중시멘트에 비해^{1,3)} 약간 크나 1중시멘트 및 조강, 초조강시멘트에 비해서는 표 6과 같이 작게 나타났으며 이를결과는 표 1의 시멘트수화열 측정값과 동일한 결항을 나타내었다.

표 6. 콘크리트 단열온도 상승시험

시멘트 종류	시간	단 열 온 도 (°C)									
		4	8	12	16	20	24	30	36	48	72
1 중	1 중	7	19	31	38	43	46	49	52	55	56
	2 중	4	12	23	29	33	36	42	45	47	49
준조강	1 중	4	13	29	37	43	48	51	52	53	53
	2 중	5	22	43	48	48	51	52	54	56	56
초조강	1 중	4	22	39	46	50	52	54	55	56	56
	2 중										

3) 철근구속효과에 의한 균열시험

철근구속에 의한 균열상태 관찰은 표 7과 같이 준조강시멘트의 경우 2중시멘트와 동일 시기인 19 일 경과후에 발생 되었다.

표 7. 철근구속에 의한 콘크리트 균열시험

시멘트	재령	균열 발생 시 기 (일)										
		0	5	7	10	13	15	17	19	1개월	6개월	
1 중	1 중	-	-	-	-	-	-	-	균열폭 0.17mm	-	0.35	균열 0.40mm
	2 중	-	-	-	-	-	-	-	-	0.25	0.45mm	균열 0.45mm
준조강	1 중	-	-	-	-	-	-	-	0.30	0.40mm	균열 0.40mm	
	2 중	-	-	-	-	-	-	-	0.25	0.35mm	균열 0.35mm	
초조강	1 중	-	-	-	-	-	-	-	0.30	0.45mm	균열 0.45mm	
	2 중	-	-	-	-	-	-	-	0.26	0.30	균열 0.45mm	

4) 건조수축

콘크리트 도로포장에서 균열발생 주원인⁴⁾ 이 되며 표장판 파손을 초래하는 건조수축을 측정 한 결과는 표 8과 같이 준조강시멘트의 경우 1중시멘트에 비해 1개월 경과시 약 15%, 6개월 경과시 약 12%의 건조수축 감소효과를 나타냈으며 2중시멘트와 건조수축이 유사한 값을 나타내었다.

표 8. 시멘트 종류별 콘크리트 건조수축

시멘트	제명	건조수축 ($\times 10^{-4}$)				
		1 주	4 주	2 개월	3 개월	6 개월
1 종	1 차	1.64	3.75	4.50	4.79	5.96
	2 차	1.37	2.92	3.76	4.34	5.42
준조강	1 차	1.26	3.15	3.65	4.17	5.16
	2 차	1.56	2.87	3.35	3.72	4.66
초조강	1 차	1.27	3.00	3.42	3.93	4.94
	2 차					

5) 내화학적

제설제에 의한 콘크리트 도로표면의 박리현상 및 동해피해도를 검토하기 위하여 4% 염화칼슘용액에서 내구성 지수를 측정할 결과는 표 9와 같이 준조강시멘트의 경우 1종 및 2종시멘트보다 약간 양호한 결과를 보이고 있다.

표 9. 4% 염화칼슘용액에서 콘크리트 내구성 지수

시멘트	종류	종결용량 (%)									
		10	20	30	40	50	100	140	170	270	300
1 종	1 차	98.1	95.3	95.3	95.3	95.8	97.9	95.8	99.9	92.0	82.1
	2 차	95.6	98.7	98.2	98.7	100.0	98.7	99.3	98.4	92.4	87.8
준조강	1 차	97.8	100.3	100.9	100.3	99.6	98.4	98.7	99.4	93.7	98.3
	2 차	98.7	97.0	99.7	99.3	98.4	94.9	97.5	97.5	97.3	98.5
초조강	1 차	99.7	99.1	99.7	100.9	97.0	98.2	101.4	103.3	100.7	100.5
	2 차										

6) 내마모성

콘크리트 도로포장판은 타이어 및 스파이크 타이어에 의한 마모현상이 발생하는데 이를 검토하기 위하여 제령 10 일 및 제령 28 일의 콘크리트를 대상으로 내마모성 측정결과는 표 10 과 같이 양생기간이 짧은 제령 10 일의 콘크리트 경우 조강성을 나타내는 준조강, 조강, 초조강시멘트 콘크리트의 내마모성이 매우 양호하게 나타났으며 이들 정향은 제령 28 일의 콘크리트 시편에서도 동일한 정향을 나타내었다. 한편 준조강시멘트의 제령 10 일 내마모성은 제령 28 일의 1종 및 2종시멘트 콘크리트보다 양호하므로 초기개봉에 따른 내마모성은 우수하다고 판단된다.

표 10. 양생제령별 콘크리트 단위마모량

양생제령	시멘트 종류	단위 $\times 10^{-2}$ g/cm ²			
		1000	5000	10,000	30,000
10 일	1 종	3.11	5.34	6.73	9.49
	2 종	4.06	6.60	8.35	11.76
	준조강	1.63	3.81	5.21	7.02
	조 강	1.11	3.59	3.34	5.54
	초조강	0.86	2.43	3.78	6.35
28 일	1 종	1.78	3.17	4.24	8.26
	2 종	2.10	2.08	4.31	8.81
	준조강	1.05	2.57	3.47	6.29
	조 강	0.68	1.95	2.97	5.55
	초조강	0.91	2.01	2.44	4.52

7) 결과종합

14일 편강도가 50kg/cm² 이상을 만족하는 콘크리트 도로포장 특성상 콘크리트 단열온도상승, 건조수축 및 구속균열 시험결과가 1종시멘트보다 우수하며 내화학적 및 내마모성이 우수한 준조강시멘트를 도로포장 초기개봉용 시멘트로 선정 하였다.

3.2 현장 시험포설

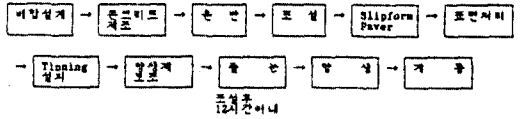
경부고속도로 315km 지점인 용대구-영천구간에 도로공사 주관하에 시험시공 ('89.10.6) 하였으며 시공규모는 7.95m 폭 x 0.28(길이) x 200mm 준조강시멘트 170분을 사용하였다. 이때 사용된 배합설계는 표 11 과 같다.

표 11. 현장 시험포장 배합설계 비교

구분	슬럼프 (cm)	시공제용량 (kg)	단위체포함(kg/m ³)				AE계 (0.5%)		
			관공제		균분공제				
			모래	석분	19mm	32mm			
준조강시멘트	4.5	39	330	183	621	92	625	512	0.015
					713	1137			
1종 시멘트	4	39	342	157	608	91	639	522	0.02
					697	1161			

1) 현장적용시험 흐름도

시험전개의 흐름도는 그림 2와 같이 수행하였으며 이때 각 공정별 시험전경는 사진과 같다.



2) 시간경과에 따른 슬럼프저하

낮에서 제조후 현장도착시까지 슬럼프 및 공기량저하 경향은 표 12 와 같이 준조강시멘트 콘크리트는 1종시멘트와 동일한 슬럼프 및 공기량저하 현상을 나타내 현장시공성도 1종시멘트와 동일하였다.

표 12. 시간경과에 따른 콘크리트 슬럼프 및 공기량저하

구분	항 목	1 회		2 회		비 고
		B/P 제오시	포설시	B/P 제오시	포설시	
1 종 시멘트	슬럼프(cm)	6.5	5.5	6.0	4.0	대기 온도 28.2℃ 1 회 준조강시 35분 2 회 준조강시 25분
	공기량(%)	4.1	4.0	4.2	4.0	
준조강시멘트	슬럼프(cm)	5.5	5.0	6.0	4.5	대기 온도 28.5℃ 1 회 준조강시 45분 2 회 준조강시 30분
	공기량(%)	3.1	3.0	3.4	3.2	

3) 침강도

현장 타설시 콘크리트 침강도 공시체를 제령법도 3개씩 제작하여 침강도 측정결과를 표 13과 같이 이를 결과를 고찰하여 볼때 준조강시멘트의 경우 제령 14 일에서 50kg/cm² 이상의 결과를 얻어 조기개통이 가능함을 확인 하였다.

표 13. 현장타설 콘크리트의 침강도

구 분	침 강 도 (kg/cm ²)				
	7 일	10 일	14 일	21 일	28 일
준조강시멘트	42.2	47.8	50.2	55.4	56.9
1종 시멘트	41.8	44.5	48.4	52.0	55.4

4) 건조수축

1종시멘트에 비해 준조강시멘트 콘크리트는 표 14와 같이 제령 2개월에서 약 15%의 건조수축 감소효과를 나타냈으며 현장타설후 도로개통 2개월까지 포장판에 균열이 발생치 않아 초기균열발생 문제는 없는 것으로 판단된다.

표 14. 현장 콘크리트의 건조수축

구 분	건 조 수 축 (x 10 ⁻⁴)				
	1 주	2 주	3 주	1개월	2개월
준조강시멘트	1.45	2.30	2.85	3.04	4.70
1종 시멘트	1.70	2.65	3.39	3.63	5.52

5) 도로포장판의 평탄성

도로공사가 보유하고 있는 설비를 이용하여 포설표면의 평탄성을 Profile index로 비교한결과를 표 15와 같이 준조강시멘트는 1종시멘트보다 포설한 경우보다 평탄성이 약간 양호한 것으로 판단된다.

표 15. 시험포설구간의 평탄성

구 분	차 선	PrI 측정치	비 고
1종 시멘트	주 경	21.5	콘크리트의 경우 10 ~ 25 아스팔트의 경우 5 ~ 10 사이 Profile Index = $\frac{L}{h}$ h = 6mm ² 의 면적으로 L 벗어난양(cm) L = 측정길이 (Km)
	수 직	23.0	
준조강시멘트	주 경	21.0	
	수 직	18.5	

4. 결 론

- 1) 국내에서 유통되고 있는 5종류의 시멘트를 대상으로 콘크리트 도로포장의 조기개통성과 도로포장에서 요구되는 품질특성을 검토한결과 14일침강도가 50kg/cm² 이상을 만족하며 콘크리트 도로포장 특성에서 가장 중요한 단열온도상승, 건조수축 및 철근수축에 의한 균열시험결과가 1종시멘트보다 우수하며 콘크리트 도로포장판의 내화특성 및 내마모성이 양호한 준조강시멘트를 콘크리트 도로포장 조기개통용으로 적합한 것으로 판단된다.

- 2) 준조강시멘트를 이용한 현장시험포설은 경부고속도로 315km 지점에 200m 구간을 시험포설한 결과 시간경과에 따른 슬럼프저하 및 공기량 감소현상은 1종시멘트 콘크리트와 유사하고 시공성도 양호하였으며 침강도가 도로개통기준 강도인 50kg/cm²을 제령 14 일만에 발현하여 콘크리트 도로의 조기개통이 가능 하였다. 또한 도로포장의 건조수축도 1종시멘트 콘크리트보다 제령 2개월에서 15%의 감소효과가 있으며, 시험포장판에 균열이 발생치 않고 평탄성도 양호한 결과를 얻어 향후 경부고속도로의 콘크리트 제조장 및 도로의 조기개통을 목적으로한 도로포장시에는 준조강시멘트 사용이 기대된다.

참 고 문 헌

1. 임창덕의 1인 "콘크리트 포장제어에 관한 연구" 상용연구소 연구보고집, 1987.
2. 한국도로공사 "고속도로공사 일반시방서" 한국도로공사 1986.
3. 임창덕의 1인 "2, 3, 5종 시멘트종류별 특성 및 용도" 상용연구소 연구보고집, 1983.
4. 한국건설기술연구원 "도로기술 단기강화" 한국건설기술연구원 도로 및 시공연구실 1989.