

특수 조강형 시멘트를 이용한 시멘트 콘크리트 도로 포장

임 창 덕

〈쌍용중앙연구소 2차제품연구실〉

1. 서 론

국내 도로포장 정책이 아스팔트로부터 콘크리트 포장으로 점차 확대 적용되고 있는데 이는 아스팔트에 비해 초기공사비가 약 10% 절감되며(중교통 경우: 3,000대/일, 1방향) 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% 등임을 고려할 때 장차 우리나라 포장율도 크게 신장되리라고 기대하고 있으나¹⁾ 콘크리트 도로포장에서 문제점으로 지적되고 있는 도로 개통시기가 아스팔트에 비해 매우 늦어 정부고속도로와 같이 기존 아스팔트 위에 콘크리트로 재포장 할 경우 콘크리트 양생기간 동안 도로가 차단되어 교통체증 및 각종 교통사고가 빈번히 발생되므로 도로개통 시기를 현행 28일²⁾에서 14일 이내로 조기개통시킬 수 있는 방안

의 일환으로 국내 유통되고 있는 시멘트 4종류와 특수조강형 시멘트(이하 준조강시멘트라 칭함)를 대상으로 요구되는 제반강도 특성 및 화학저항성 평가시험을 검토하였으며 현장실험을 통한 확대적용 가능성을 확인하였다.

2. 시험 개요

2.1 사용재료

국내에서 유통되고 있는 시멘트 4종류(1종, 2종, 조강, 초조강)와 특수 조강형시멘트인 준조강시멘트를 사용하였으며 사용골재는 금강산 굵은 골재와 잔골재로 이들 물리적 특성은〈표-1, 2〉와 같다.

2.2 실험방법

1) 콘크리트 배합
정부고속도로 회덕~추풍령 구간에 이용되고

시멘트 종류별 물리적 특성

〈표-1〉

항목 종류	응 결 시 간		압 축 강 도 (kg/cm ²)							KS 수화열	
	초 결	총 결	1 일	3 일	7 일	10 일	14 일	21 일	28 일	7 일	28 일
1종 시멘트	320	8:00	88	186	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	130	255	337	364	392	411	451	74.6	83.2
조 강	240	6:15	189	347	396	406	428	478	483	82.1	95.4
초 조 강	270	6:00	185	391	452	479	482	497	530	82.3	98.3

골재의 물리적 특성

<표-2>

구분	항목	최대골재치수 (mm)	비 중 (g/cm ³)	흡수율 (%)	단위 용적 중량 (kg/m ³)	공극율 (%)	조립율 (%)
잔골재		5	2.60	0.95	1,604	62.3	2.59
굵은골재		25	2.59	1.23	1,622	63.4	6.40

콘크리트 배합설계표

<표-3>

최대골재치수(mm)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	단 위 재 료 량 (kg/m ³)				
			시멘트	물	잔골재	굵은골재	AE제
25	4 ± 0.5	5 ± 0.5	345	(155)	657	1,131	C × 0.03 (wt. %)

있는 배합표를 기준으로 공기량 및 슬럼프 값이 각각 5 ± 0.5 %, 4 ± 0.5 cm가 되도록 단위수량 및 공기연행제를 조절하였다. 이들 배합설계표는 <표-3>과 같다.

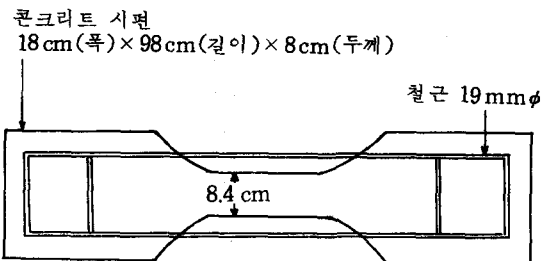
2) 특수시험 제작

① 단일온도 상승시험

콘크리트 경화시 발생하는 발열온도를 Adiabatic calorimeter를 이용하여 72시간까지 누적온도를 측정하였다.

② 구속효과에 의한 균열시험

건조수축에 의한 균열상태를 관찰하기 위하여 <그림-1>과 같은 장치를 이용하여 대기조건에서 콘크리트를 양생시킨 후 균열발생 시점과 균열폭을 측정하였다.



<그림-1> 철근구속 균열시험장치

③ 건조수축

콘크리트 건조수축은 KS F 2424에 준하여 시험하였다.

④ 내화학적

4% 염화칼슘 용액내에 재령 14일까지 수중양생시킨 10×10×40 cm의 각주 공시체를 온도 -15℃~4℃로 동결융해시키면서 동해피해도를 내구성지수로 판단하였다.

⑤ 내마모성

표면마모시험기로 15×5 cm(높이)의 콘크리트 공시체를 제작한 후 강구 및 연마제에 의한 단위면적당 마모량을 측정하였다.

3. 결과 및 검토

3.1 도로포장 조기개통용 시멘트 선정 시험 (실험실적 검토)

1) 압축강도 및 휨강도

도로공사에서 사용되고 있는 배합표를 기준으로 배합설계한 후의 측정결과는 <표-4, 5>와 같이 준조강시멘트의 휨강도는 재령 10일에서도 도로개통 시점인 50 kg/cm²의 휨강도를 발현하므로 조기개통 가능성을 나타냈다. 또한 조강 및 초조강시멘트의 경우 초기강도 발현은 우수하나 후기강도는 1종시멘트의 강도발현과 동등한 수준을 나타내었다.

2) 콘크리트 단열온도 시험

콘크리트 단열온도 상승은 준조강시멘트의 경우 2종시멘트에 비해^{1),2)} 약간 크나 1종시멘트 및 조강, 초조강시멘트에 비해서는 <표-6>과 같이 작게 나타났으며 이들 결과는 <표-1>의 시멘트 수화열 측정값과 동일한 경향을 나타내었다.

시멘트 종류별 콘크리트 압축강도 특성

<표-4>

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

시멘트 종류별 콘크리트 휨강도 특성

<표-5>

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

3) 철근구속 효과에 의한 균열시험

철근구속에 의한 균열상태 관찰은 <표-7>과 같이 준조강시멘트의 경우 2종시멘트와 동일 시기인 19일 경과 후에 발생되었다.

콘크리트 단열온도 상승시험

<표-6>

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

4) 건조수축

콘크리트 도로포장에서 균열발생의 주원인⁴⁾ 이 되며 포장판 파손을 초래하는 건조수축을 측정 한 결과는 <표-8>과 같이 준조강시멘트의 경우 1종시멘트에 비해 1개월 경과시 약 15%, 6개월 경과시 약 12%의 건조수축 감소효과를 나타냈으며 2종시멘트와 건조수축이 유사한 값을 나타내었다.

5) 내화학적

제설제에 의한 콘크리트 도로표면의 박리현상 및 동해피해도를 검토하기 위하여 4% 염화칼슘 용액에서 내구성지수를 측정 한 결과는 <표-

철근구속에 의한 콘크리트 균열시험

<표-7>

기간 종류	균 열 발 생 시 기(일)									
	0	5	7	10	13	15	17	19	1개월	6개월
1 종	-	-	-	-	-	-	균열폭 0.17 mm	-	0.35	균열 0.40 mm
2 종	-	-	-	-	-	-	-	균열폭 0.2 mm	0.25	균열 0.45 mm
준조강	-	-	-	-	-	-	-	균열폭 0.2 mm	0.30	균열 0.40 mm
조 강	-	-	-	-	-	-	-	균열폭 0.2 mm	0.25	균열 0.35 mm
초조강	-	-	-	-	-	-	-	균열폭 0.25 mm	0.30	균열 0.45 mm

시멘트 종류별 콘크리트 건조수축
<표-8>

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

9)와 같이 준조강시멘트의 경우 1종 및 2종 시멘트보다 약간 양호한 결과를 보이고 있다.

6) 내마모성

콘크리트 도로포장판에서 타이어 및 스파이크 타이어에 의한 마모현상이 발생되는데 이를 검토하기 위하여 재령 10일 및 재령 28일의 콘크리트를 대상으로 내마모성을 측정 한 결과는 <표-10>과 같이 양생기간이 짧은 재령 10일의 콘크리트의 경우 조강성을 나타내는 준조강, 조강, 초조강시멘트 콘크리트의 내마모성이 매우 양호하게 나타났으며 이들 경향은 재령 28일의 콘크리트 시편에서도 동일한 경향을 나타내었다. 한편 준조강시멘트의 재령 10일 내마모성은 재령 28일의 1종 및 2종시멘트 콘크리트보다 양호하므로 조기개통에 따른 내마모성은 우수한 것으로 판단된다.

7) 결과종합

14일 휨강도가 50 kg/cm^2 이상을 만족하는 콘크리트 도로포장 특성 중 콘크리트 단열온도 상승, 건조수축 및 구속균열시험 결과가 1종시

멘트보다 우수하며 내화학적 및 내마모성이 우수한 준조강시멘트를 도로포장 조기개통용 시멘트로 선정하였다.

3.2 현장 시험포설

경부고속도로 315km 지점인 동대구~영천 구간에 도로공사 주관하에 시험시공(89.10.6)하였으 며 시공규모는 $7.95 \text{ m(폭)} \times 0.28 \text{ (깊이)} \times 200 \text{ m}$ 로 준조강시멘트 170톤을 사용하였다. 이때 사용된 배합설계는 <표-11>과 같다.

실험전개의 흐름도는 <그림-2>와 같이 수행하였으며 이때 각 공정별 시험 전경은 <사진 1~8>과 같다.

1) 시간경과에 따른 슬럼프 저하

뱃처에서 제조 후 현장 도착시까지 슬럼프 및 공기량 저하 경향은 <표-12>와 같이 준조강

양생재령별 콘크리트 단위마모량
<표-10> ($\times 10^{-2} \text{ g/cm}^2$)

양 생 재 령	종 류	마모회전수 (Vpm)			
		1,000	5,000	10,000	30,000
10 일	1 종	3.11	5.34	6.73	9.49
	2 종	4.05	6.60	8.35	11.76
	준 조 강	1.63	3.81	5.21	7.02
	조 강	1.11	2.59	3.34	5.54
	초 조 강	0.86	2.43	3.78	6.35
28 일	1 종	1.78	2.17	4.24	8.26
	2 종	2.10	2.06	4.31	8.81
	준 조 강	1.05	2.57	3.47	6.29
	조 강	0.68	1.95	2.97	5.55
	초 조 강	0.91	2.01	2.44	4.52

4% 염화칼슘 용액내에서의 콘크리트 내구성 지수

<표-9>

종 류	동 결 용 해 횟 수									
	10	20	30	40	60	100	140	170	270	300
1 종	98.1	95.3	95.3	95.3	93.6	97.9	95.8	99.9	92.0	82.1
2 종	99.6	98.7	98.2	98.7	100.0	98.7	99.3	98.4	92.4	87.8
준 조 강	97.8	100.3	100.9	100.3	99.6	98.4	98.7	99.4	93.7	96.3
조 강	98.7	97.0	99.7	99.3	98.4	94.9	97.5	97.5	97.3	98.5
초 조 강	99.7	99.1	99.7	100.9	97.0	98.2	101.4	103.3	100.7	100.5

현장 시험포장 배합설계 비교

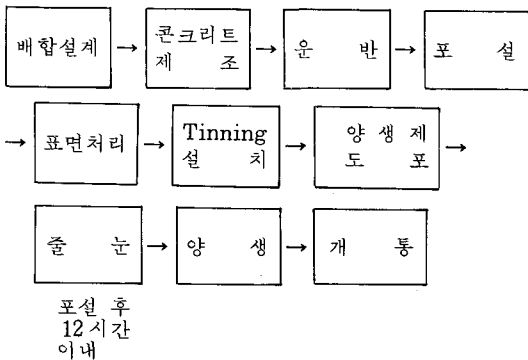
<표-11>

종 류	항 목	슬 럽 프 (cm)	세 골 재 율 (%)	단 위 재 료 량 (kg/m ³)				AE 제 (%시멘트)		
				C	W	잔 골 재			굵 은 골 재	
						모 래	석 분		19 mm	32 mm
준 조 강 시 멘 트	4.5	39	330	153	621	92	625	512	0.015	
					713		1,137			
1 종 시 멘 트	4	39	342	157	606	91	639	522	0.02	
					697		1,161			

시간경과에 따른 콘크리트 슬럼프 및 공기량 저하

<표-12>

종 류	항 목	1 회		2 회		비 고
		B/P 제조시	포 설 시	B/P 제조시	포 설 시	
1 종 시 멘 트	슬럼프(cm)	6.5	5.5	6.0	4.0	대기 온도 22℃ 1회 소요시간 35분 2회 소요시간 29분
	공기량(%)	4.1	4.0	4.2	4.0	
준 조 강 시 멘 트	슬럼프(cm)	5.5	5.0	6.0	4.5	대기 온도 26℃ 1회 소요시간 45분 2회 소요시간 30분
	공기량(%)	3.1	3.0	3.4	3.2	



<그림-2> 현장 적용 실험 흐름도

시멘트 콘크리트는 1종시멘트와 동일한 슬럼프 및 공기량 저하 현상을 나타내었기 때문에 현장 시공성도 1종시멘트와 동일하였다.

2) 휨강도

현장 타설시 콘크리트 휨강도 공시체를 재령 별로 3개씩 제작하여 휨강도를 측정한 결과는 <표-13>과 같이 이들 결과를 고찰하여 볼 때 준조강시멘트의 경우 재령 14일에서 50kg/cm² 이상의 결과를 얻어 조기개통이 가능함을 확인하였다.

현장타설 콘크리트의 휨강도

<표-13>

종 류	재령	휨 강 도 (kg/cm ²)				
		7 일	10 일	14 일	21 일	28 일
준 조 강 시 멘 트		42.2	47.6	50.2	55.4	56.9
1 종 시 멘 트		41.8	44.5	48.4	52.0	55.4

현장 콘크리트의 건조수축

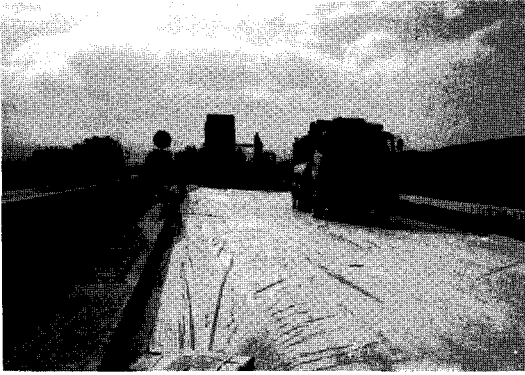
<표-14>

종 류	건 조 수 축 (×10 ⁻⁴)				
	1 주	2 주	3 주	1 개 월	2 개 월
준 조 강 시 멘 트	1.45	2.30	2.85	3.04	4.70
1 종 시 멘 트	1.70	2.65	3.39	3.63	5.52

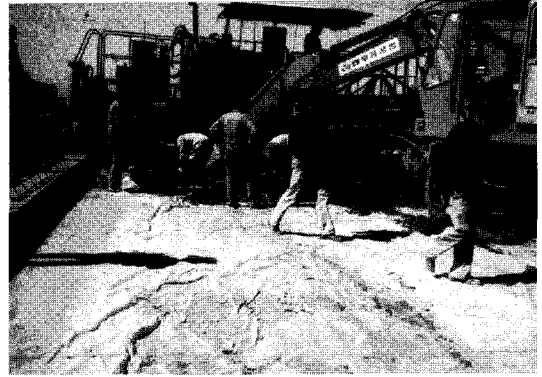
시험포설구간의 평탄성

<표-15>

구 분	차 선	PrI 측정치	비 고
1 종 시 멘 트	주행	21.5	콘크리트의 경우 10~25 아스팔트의 경우 5~10 $\frac{\sum hi}{L}$ Propile Index = $\frac{\sum hi}{L}$ hi=6mm때 밖으로 벗어난 량(cm) L=측정길이(km)
	추월	23.0	
준 조 강 시 멘 트	주행	21.0	
	추월	18.5	



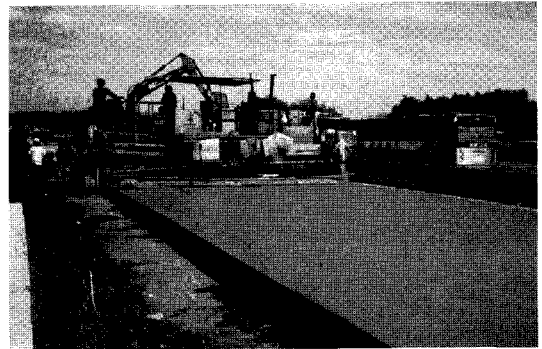
<사진-1> 포설 전경(아스팔트 표층제거 후 비닐판 위에 콘크리트 포설)



<사진-2> 포설 전경(포크레인으로 콘크리트 분산 포설작업)



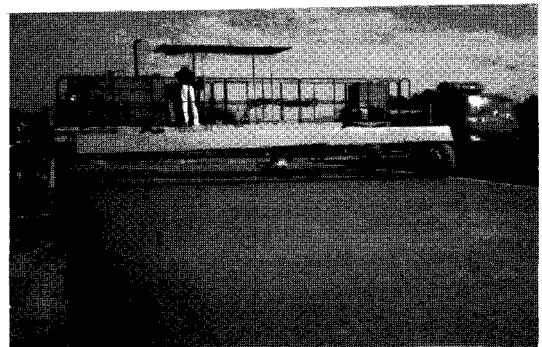
<사진-3> Slipform paver 에 의한 포장판 작업전경



<사진-4> Slipform paver 에 의한 작업전경



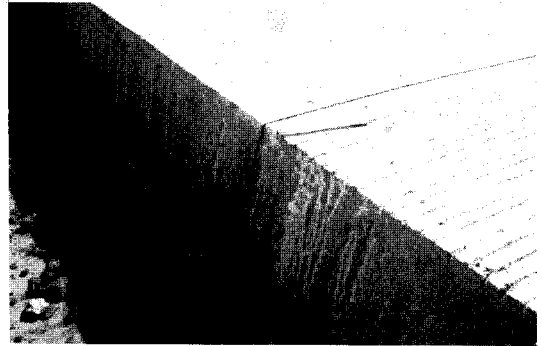
<사진-5> Slipform paver 작업 후 Burlap으로 콘크리트 표면처리 작업전경



<사진-6> 콘크리트 표면처리 후 미끄럼 저항을 향상시키기 위한 Tinning 작업(표면에 줄흔형성) 전경



〈사진-7〉 준조강시멘트 콘크리트의 Tinning 처리 상태



〈사진-8〉 양생제 도포 및 수축줄눈 전경

3) 건조수축

1종시멘트에 비해 준조강시멘트 콘크리트는 〈표-14〉와 같이 재령 2개월에서 약 15%의 건조수축 감소 효과를 나타냈으며 현장타설 후 도로개통 2개월까지 포장판에 균열이 발생치 않아 초기균열 발생 문제는 없는 것으로 판단된다.

4) 도로포장판의 평탄성

도로공사가 보유하고 있는 설비를 이용하여 포설표면의 평탄성을 Propfile index로 비교한 결과는 〈표-15〉와 같이 준조강시멘트는 1종시멘트로 포설한 경우보다 평탄성이 약간 양호한 것으로 판단된다.

4. 결 론

1) 국내에서 유통되고 있는 5종류의 시멘트를 대상으로 콘크리트 도로포장의 조기개통 성능과 도로포장에서 요구되는 품질 특성을 검토한 결과 14일 휨강도가 50 kg/cm^2 이상을 만족하며 콘크리트 도로포장 특성에서 가장 중요한 단열온도 상승, 건조수축 및 철근구속에 의한 균열시험 결과가 1종시멘트보다 우수하며 콘크리트 도로포장판의 내화학적 및 내마모성이 양호한 준조강시멘트가 콘크리트 도로포장 조기개통용으로 적합한 것으로 판단된다.

2) 준조강시멘트를 사용하여 경부고속도로 315 km 지점에 200 m 구간을 시험포설한 결과 시간 경과에 따른 슬럼프 저하 및 공기량 감소 현상은 1종시멘트 콘크리트와 유사하고 시공성도 양호하였으며 휨강도가 도로개통 기준 강도인 50 kg/cm^2 을 재령 14일만에 발현하여 콘크리트 도로의 조기개통이 가능하였다.

또한 도로포장의 건조수축도 1종시멘트 콘크리트보다 재령 2개월에서 15%의 감소 효과가 있으며 시험포장판에 균열이 발생치 않고 평탄성도 양호한 결과를 얻어 향후 경부고속도로의 콘크리트 재포장 및 도로의 조기개통을 목적으로 한 도로포장시에는 준조강시멘트 사용이 기대된다.

〈참 고 문 헌〉

1. 임창덕 외 1인, “콘크리트 포장 재료에 관한 연구”, 쌍용연구소 연구보고집, 1987.
2. 한국도로공사, “고속도로 공사 일반 시방서”, 한국도로공사, 1986.
3. 임창덕 외 1인, “2, 3, 5종시멘트 종류별 특성 및 용도”, 쌍용연구소 연구보고집, 1983.
4. 한국건설기술연구원, “도로기술 단기강좌”, 한국건설기술연구원 도로 및 시공연구실, 1989.