신속개방형 덧씌우기 포장 콘크리트 재료 개발

Development of Cement Concrete for Fast-track Overlay

엄태선* · 임채용** · 백우현*** · 조윤호****

Um, Tai Sun · Lim, Chae Yong · Baik, Woo Hyun · Cho, Yoon Ho

1. 서 론

중차량 교통이 많은 일반국도는 약 90%가 아스팔트 포장으로 이루어져 있다. 이들 도로는 중하중 교통차량에 의해 러팅(rutting), 쇼빙(shoving), 코루게이션(corrugation) 등의 영구 변형으로 통계상 5-8년에 한번씩 덧씌우기 등과 같은 유지보수를 시행하고 있다. 중차량이 많은 도로에 지속적인 덧씌우기는 도로유지보수를 위한 중복투자를 가져오고 경제적인 손실로 국민에게 세 부담을 증가시키는 요인이 되고 있다.

반면에 콘크리트의 경우 영구변형에 의한 파손이 발생하지 않아 중차량 교통량이 많고 정체가 많이 발생하는 신설도로 또는 도로보수에 채택하는 것이 유리하다. 하지만 콘크리트 포장은 양생하는 동안에 차량의 통제와 지체로 도로이용자의 민원이 부담으로 작용하여 널리 시공되지 않고 있다. 그러나 잦은 보수에 따른 도로 통제와 재시공에 따른 유지관리비를 고려한다면 콘크리트 포장이 유리한 면도 있다. 일반국도 및 고속도로의 포장율이 거의 100%에 육박함에 따라 국내 도로관리의 중요성이 부각되고 있다. 덧씌우기가 대표적인 유지보수공법으로 채택되고 있는 현실에서 콘크리트 덧씌우기의 필요성이 선진국으로부터 도입되고 있다. 따라서 도로포장 보수를 위한 콘크리트 덧씌우기 공법을 보급하기 위해서는 조기개방을 위한 조강형 시멘트재료, 관련 시공법 및 보수, 설계기술 등의 개발이 필요하다. 본 연구는 1일 공용 콘크리트 포장 재료 개발을 위한 실험적 연구를 수행하였다.

2. 신속개방형 콘크리트 포장

선진국에서는 조기 개통이 가능하고 1시간 이상 작업시간 확보가 가능한 시멘트와 시공법의 개발이 다각도로 진행되고 있다. 일본은 91년에 건설성 토목연구소 주도로 1일 공용 강성포장재의 개발을 추진하여 1시간 이상의 작업시간을 확보하고, 1일 강도 300kg/㎠ 이상 되는 콘크리트개발을 발표하였으며[1], 미국은 1986년 7월에 미국 아이오와주 71번 고속도로에서 18㎝의 콘크리트 포장에 10㎝두께의

* 정회원 · 쌍용중앙연구소 콘크리트 연구실 · 책임연구원 · 042-865-1755 (E-mail: taisunum@hanmail.net)

** 정회원 · 쌍용중앙연구소 콘크리트 연구실 · 연구원 · 042-865-1714 (E-mail: limdrn@hanmail.net)

*** 정회원 · 중앙대학교 토목공학과 · 02-816-0251 (E-mail: whbaik@hanmail.net)

**** 정회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 · 조교수 · 02-820-5336 (E-mail: yhcho@cau.ac.kr)

덧씌우기 포장을 11㎞ 연장에 걸쳐 건설하고, 12시간 172kg/㎠, 16kg/㎠, 24시간 237kg/㎠, 20kg/㎠의 압축강도와 부착강도 결과를 보였다[2]. 이 후 계속적인 기술의 발전을 거듭하여 6시간 교통개방이 가능한 콘크리트 시공기술을 보유하고 있다.

국내 조기개방 콘크리트의 연구는 1990년대 중반 연구를 시작하였으나 많은 연구가 이루어지지는 않고 있다.

3 신속개방형 콘크리트의 품질 설계

3.1 시멘트

1일 공용과 1시간의 작업 가능시간 확보를 목표로 신속개방형 콘크리트의 품질설계를 추진하였다. 품질설계를 위한 조건은 3종 시멘트 단독 사용하는 경우와 3종시멘트에 강도 증진을 위해 조강재, 촉진제를 사용하는 경우로 구분하여 콘크리트 배합설계 시험을 통해 시험실적 1일 공용 특성 및 적용성을 평가하였다.

3.2 조강재, 촉진제 및 유기 혼화제

조강재는 아윈클링커와 무수석고를 사용하였고 이의 화학성분은 표 1과 같다.

표 1. 아윈클링커와 무수석고의 화학성분

구 분	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	SO_3	Ig-loss
무수석고	3.7	0.7	0.1	38.3	0.0	0.01	0.03	54.4	2.9
아윈클링커	7.8	35.9	0.8	42.0	1.3	0.25	0.32	10.3	1.3

지연제는 Sodium Gluconate와 Boric Acid 2종, 촉진제는 A, B, C 3종에 대해 검토하였다. 감수제는 감수율과 유동성 유지를 고려하여 폴리카본산계 4종, 나프탈렌계 1종을 선정하여 시험하였다. 각 재료의 특성은 표 2와 같다.

표 2. 사용재료별 특성

첨가재의 종류	성 분	특 성	비 고
고성능 AE감수제	폴리카본산계	갈색 액상	* 유기 첨가제는 혼합수에 희석 첨가
	나프탈렌계	갈색 액상	
지연제	SG, BA	백색 분말	
촉진제	NS, LC, CN	백색분말 및 결정	

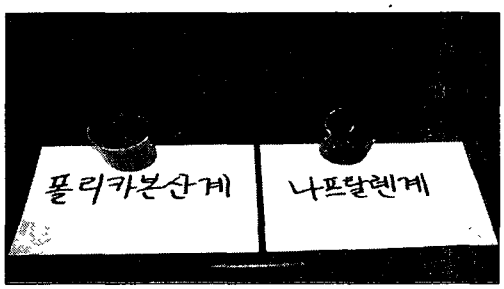

그림1. 고성능 AE 감수제

3.3 골재

굵은 골재와 잔골재의 물성은 표 3과 같다.

표 3. 골재의 물성

항 목	산지	최대골재크기 (mm)	표면수 (%)	비중	흡수율 (%)	조립율
S	공주	5	0.8	2.60	0.8	2.8
G	청원	19	0.9	2.70	0.6	6.9

1일 강도 300Kg/㎠ 이상 및 1시간 이상 작업시간 유지를 목표로 단위시멘트량, 잔골재율, 조강재 및 지연제, 촉진제, 고성능 AE감수제의 종류와 사용량을 변경하면서 시험을 추진하였다. 또한 혼합 방법에 따른 초기 강도발현의 영향도 병행하여 평가하였다.

4. 실내 실험 결과

4.1 조강재 및 지연재

아윈클링커와 무수석고를 사용한 조강재를 3종 시멘트에 사용하는 경우 급결현상이 나타나 유동성을 유지하기 위한 방안이 필요하였다. 이에 따라 지연제를 함께 사용하였으며 종류와 양에 따른 강도 특성과 유동성을 평가하였다. 이에 따른 실험 조건은 표 4와 같다.

그림 2는 조강재 및 지연제 양에 따라 압축강도가 변화하는 양상을 나타낸 것으로 1일 강도는 조강재가 단위부피당(㎥) 40kg을 넣은 경우 증가하였으나 20㎏을 넣은 경우강도에 유리하였으며 지연제를 0.4% 사용한 배합에서는 1일 강도가 크게 감소하여 1일 탈형이 불가능하였으며 0.2%인 경우 강도발현을 크게 저해하지 않고 작업성 개선이 가능하여 조강재 40㎏/㎥과 지연제0.2%인 경우가 가장 적정할 것으로 판단하였다.

표 4. 조강재/지연제 조건별 콘크리트 배합조건

NO	실험 조건	슬럼프 (cm)	S/a (%)	W/C (%)	F/CF(%)			시멘트량 (kg/㎥)	조강재량 (Kg/㎥)	고유동화제	RT*2	
					HY	AG	계			CF%	종류	CF%
1	Pain	16.0	42	42	0	0	0	400	0	1.2		0
2	H10R0	17.5	42	42	6	4	10	360	40	1.2		0
3	H10R2	20.1	42	42	6	4	10	360	40	1.2		0.2
4	H10R4	22.0	42	42	6	4	10	360	40	1.2	B/A	0.4
5	H05R0	20.0	42	42	3	2	5	380	20	1.2		0
6	H05R0	20.7	42	42	3	2	5	380	20	1.2		0.2
7	H05R4	20.1	42	42	3	2	5	380	20	1.2		0.4

RT*2 : Retarder(지연제), B/A : Boric Acid, H10,H05 : 조강재량(10, 5%), R0,R2,R4 : 지연제량(0, 0.2, 0.4)

4.2 촉진제 영향

아윈클링커와 무수석고를 조합한 조강재를 사용하여 3종시멘트의 조강성 및 고강도성을 증진하고자 하였으나, 응결이 빠르고, 슬럼프로스가 크게 나타남에도 불구하고 조기 강도발현이 낮아 그의 개선방안으로 비염화물계 촉진제인 A와 B촉진제의 사용성을 검토하였다. 이에 따른 시험 조건은 표 5와 같다.

표 5. 촉진제(NS/LC)평가를 위한 콘크리트 배합조건

구 분	실 험 조 건	배 합 비							단위재료량						
		S/a (%)	W/CF (%)	F/CF(%)					C	F	W	고유등화 CF%	AE*3 CF%	A HY%	B CF%
				HY		AG		계							
				%	Bla'	%	Bla'								
1	P	42	40	0	-	0	-	0	440	0	176	1.5	0.05	0	0
2	PL	42	40	0	-	0	-	0	440	0	176	1.5	0.05	0	1
3	HN	42	40	3	6000	2	6000	5	420	20	176	1.5	0.05	0.3	0
4	HNL	42	40	3	6000	2	6000	5	420	20	176	1.5	0.05	0.3	1

그림 3에서 촉진제를 사용하였을 때의 압축강도를 나타내는 것으로 목표치인 1일 강도 300kg/㎠은 만족하였으나 슬럼프의 로스가 심하여 촉진제양의 조정 대책이 필요하였다.

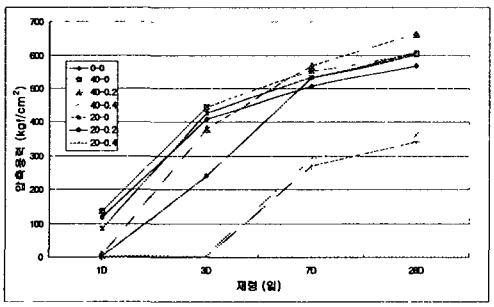

그림 2. 조강재와 지연제 비율별 콘크리트 압축강도

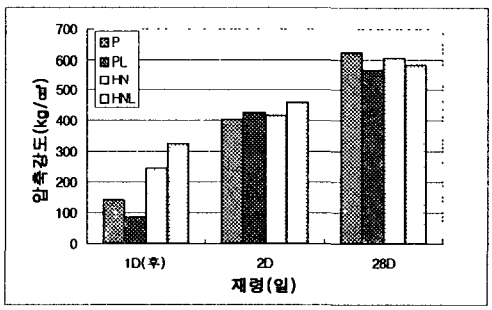

그림 3. 촉진제 사용량별 압축강도

4.3 고성능 감수제 영향

화학 혼화제는 시멘트 종류에 따라 감수율, 슬럼프 유지성능에 다른 특성을 보이며 장기 강도의 영향은 비교적 적은 것으로 알려져 있으나 조기 강도에는 큰 영향을 미치므로 본 연구에서는 나프탈렌계와 폴리카본산계를 선정하였다. 콘크리트 슬럼프 로스의 원활한 측정을 위해 W/C비는 40%내외로 선정하였다. 실험 결과 폴리카본산계와 나프탈렌계가 비슷한 감수율을 보였으나 슬럼프 유지성능은 폴리카본산계 혼화제가 월등히 양호하였으며, 조기강도에서는 나프탈렌계 혼화제가 보다 양호하였지만 그 차이가 크지 않아 작업성을 유지하기 위하여 폴리카본산계 혼화제를 선정하였다. 하지만 폴리

카본산계 혼화제의 경우 타설방법 및 사용배합, 재료에 따라 물성치의 큰 변화를 보여 시공시 주의가 필요하였다.

4.4 배합조건

폴리카본산계 혼화제는 기존의 혼화제보다 혼합시간을 길게 하는 것이 분산성 및 강도발현에 우수하다. 따라서 배합방법과 공시체 제작 시간에 따른 강도변화를 평가하였다. 표 6은 혼합조건에 따른 실내실험을 위한 실험계획 및 압축강도 결과로 혼화제의 충분한 분산이 강도에 큰 영향을 미치므로 시공시 배치플랜트에서 충분한 배합시간이 필요할 것으로 판단되었다.

표 6. 혼합방법별 물성평가 콘크리트 배합 및 혼합조건 및 압축강도 결과

실험조건	배합비							단위시료량 (Kg/m³)							압축강도(kg/㎠)			
	S/a (%)	W/CF (%)	F/CF(%)					C	F	W	표유물 CF%	AE×3 CF%	A HY%	B CF%	1D (즉시)	1D (30분)	1D (60분)	2D
			HY	Bla'	AG	Bla'	계											
A	39	36	2	6000	3	6000	5	440	22	168	1.5	0.02	10	0.2	345	367	385	503
B	39	36	2	6000	3	6000	5	440	22	168	1.5	0.02	10	0.2	316	344	373	452
C	39	36	2	6000	3	6000	5	440	22	168	1.5	0.02	10	0.2	250	301	334	467

A : 건(30s)-물탈(3분)-정치(3분)-본(2분), B : 건(30s)-물탈(3분)-정치(8분)-본(2분), C : 건(30s)-본(1.5분)

4.5 현장 실험

실내실험 결과의 검증을 위해 현장 배치 플랜트에서 현장 운반 및 타설 조건별 배합 선정과 현장조건 변동에 대한 물성평가를 실시하였다. 인력타설을 위한 애지테이터 트럭실험과 기계식 시공을 위한 덤프특럭 운송을 모사한 실험 결과 대부분의 경우 1일 압축강도 300kg/㎠을 상회하였으며 기준강도를 넘지 못한 경우는 과다한 배합시간으로 인해 공기량이 기준을 상회하여 압축강도의 저하를 가져온 것으로 판단되며 2분 정도의 배합시간이 적정하였다.

5. 결론

1일 개통이 가능한 포장 콘크리트의 제조는 3종시멘트를 사용하며 단위시멘트량은 400~480kg/㎥의 부배합이 적당하며 아윈클링커와 무수석고를 사용하는 조강재의 비는 6:4로 제조하는 것이 필요하다. 고성능 감수제의 경우, 1시간 이상의 작업시간 확보가 가능한 조강, 고강도 콘크리트 제조를 위해서는 조기강도 발현에 적은 영향을 미치는 것으로 판단되는 폴리카본산계 N형 고성능감수제 사용이 추천되었다. 이와 같은 실험 결과 대규모 보수가 가능하며 1일 교통개방이 가능한 콘크리트 추천배합은 표 7과 같다. 이에 따라 배합설계 하면 유동성, 강도발현 및 내구성에 우수한 특성을 얻을 것으로 판단된다.

표 7. 1일 공용 콘크리트 추천배합

구분	조건	물/시멘트비 (%)	잔골재율 (%)	단위시멘트량 (kg/m³)	단위수량 (kg/m³)	혼화제	촉진제
에지태이터 트럭	3종	34~36	40~45	420~480	170이하	고유동화제	C(1~3%)
	3종+조강재	34~36	40~45	420~480	170이하	고유동화제	C(1~3%)
덤프트럭	3종	34~36	40~45	380~420	150이하	고유동화제	C(1~3%)
	3종+조강재	34~36	40~45	380~420	150이하	고유동화제	C(1~3%)

감사의 글

본 논문은 한국과학기술부, 한국과학재단에서 지원한 첨단도로연구센터의 연구수행 결과입니다.

참고문헌

1. 日本建設省土木研究所, 現場打ち超早强コンクリ-トの實用化する共同研究報告書 1992.3.
2. 콘크리트 덧씌우기에 의한 포장보강방안 연구 II, 한국도로공사, 1996
3. RILEM, Admixtures for Concrete Improvement of Properties, 1990
4. ACI, 4th CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, 1990