

특수 시공환경에서 조강시멘트의 특성을 평가하기 위한 재료조건은 <표 1, 2>와 같다.

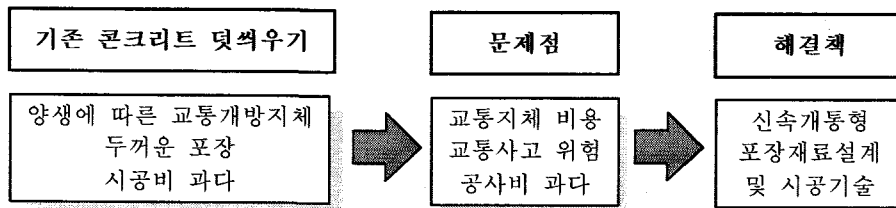
2.2. 적용 및 개발기술의 개념

2.2.1 도로 보수공사의 신속개통

1) 적용기술 개념

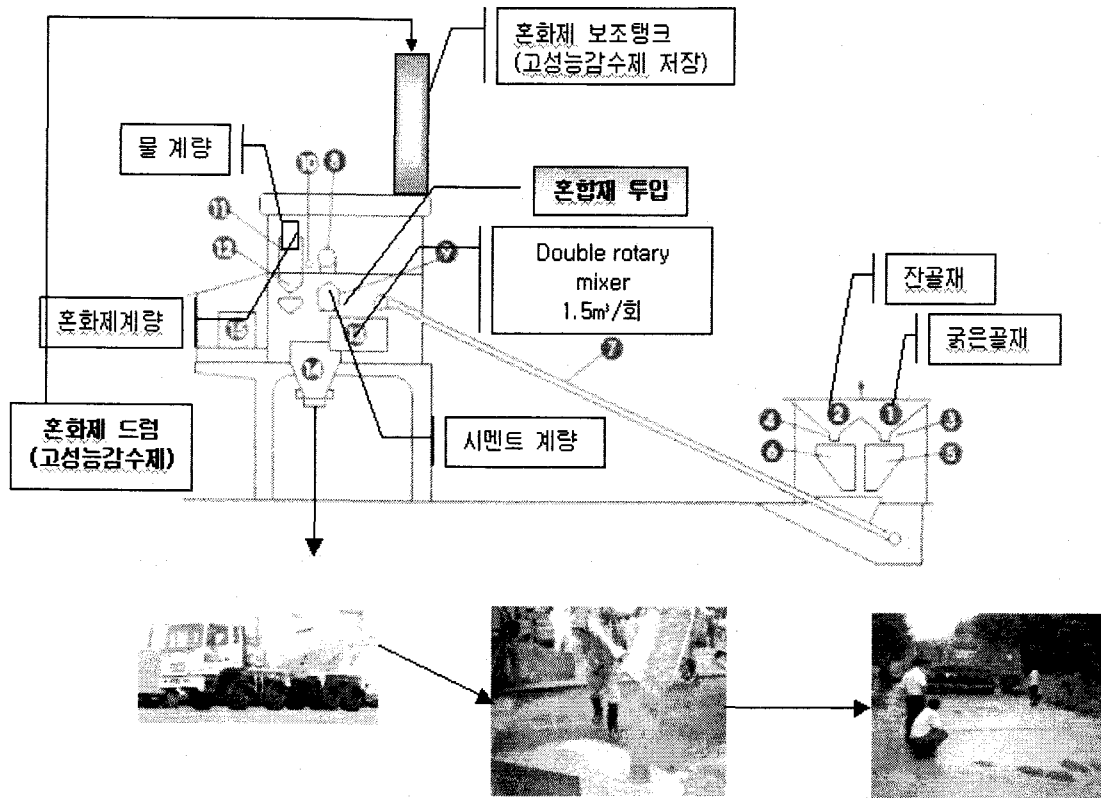
본 용도에의 적용 및 개발기술의 개념은 다음과 같다.

- ① 교통 차단후, 16~24시간 이내 개통 (신속성/ 간편성)
- ② 일반 레미콘, 포장장비 활용 (범용성)
- ③ 20년 이상 공용, 보수시기 연장 (안정성/ 내구성)
- ④ 유지보수재정(약 1.8조원/년) 절감 (생애주기 연장)
- ⑤ 교통지체에 따른 사회기회비용 절감 (물류비, 이동시간 감소)



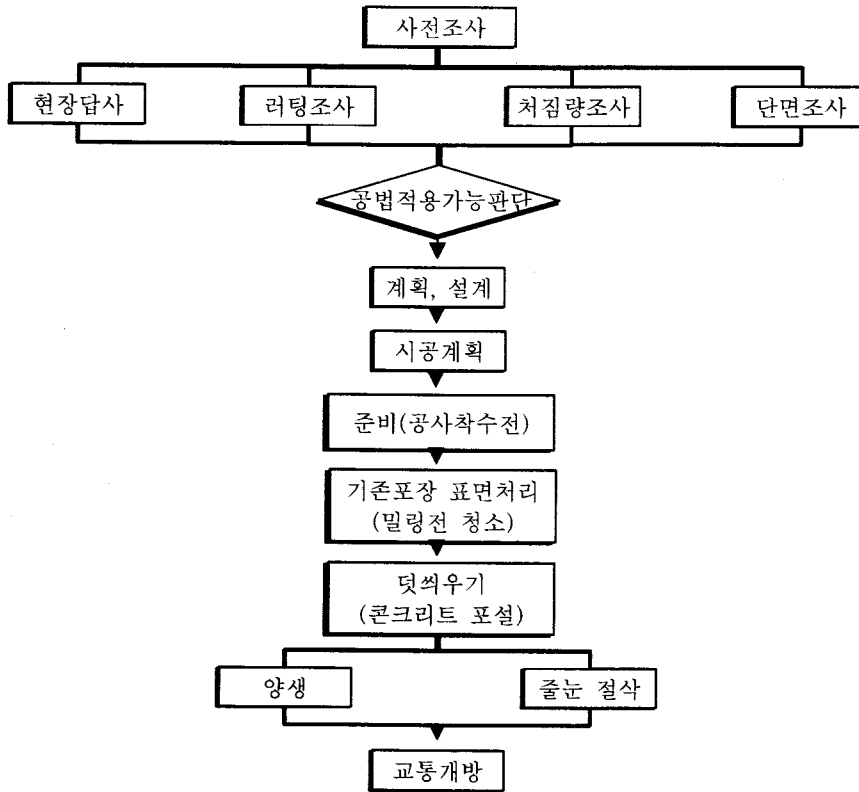
<그림 1> Fast-track(16~24hr이내) Whitetopping 포장재의 필요성

2) 제조방법



<그림 2> Fast-track(16~24hr이내) Whitetopping 포장레미콘의 생산흐름도

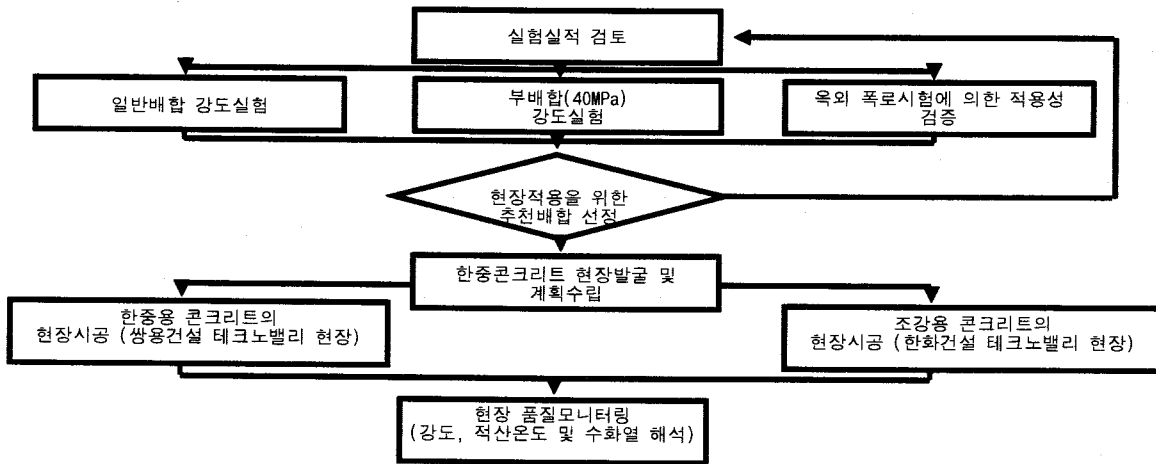
3) 공법의 개념



<그림 3> Fast-track(16~24hr이내) Whitetopping 포장제의 시공흐름도

2.2.2 한중 및 공기단축을 위한 적용성

1) 추진체계



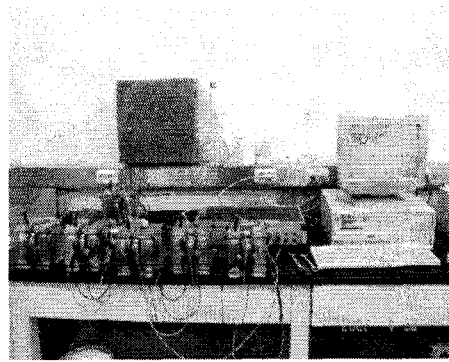
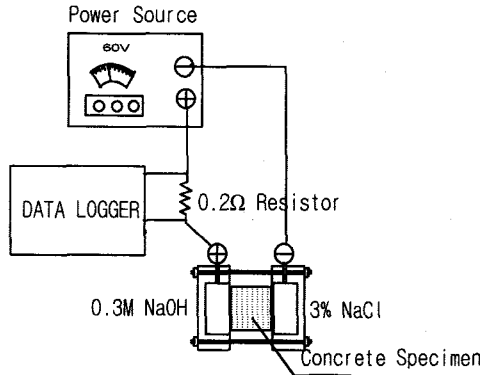
<그림 4> 한중 및 공기단축을 위한 평가실험 (흐름도)

2) 검토항목

- ① 초기 내동해성을 위한 양생단축
- ② 설계기준강도의 확보재령 단축효과
- ③ 수화열 측정을 통한 적산강도추정 및 적용성(경제성) 평가

2.2.3 내염성 평가

1) 시험방법(ASTM C 1202-94)



<그림 5> 전위차에 의해 염화물을 투과하는 금속 염분투과 시험방법(ASTM C 1202-94)

2) 평가조건 및 내용

<표 3> 조강시멘트의 배합별 내염성평가 조건

구분	시멘트 (kg/m ³)	혼합재(kg/m ³)		혼화제 (kg/m ³)	물 (kg/m ³)	S/a (%)	Slump (cm)	공기량 (%)	물성평가를 위한 양생조건
		*FA	슬래그						
3종 조강 시멘트	390	-	-	2.15	183	43	8.5	3.6	양생조건(I) : 증기양생 전치 2시간-승온2시간-65℃ 3시간유지 양생조건(II) : 증기양생 전치 3시간-승온3시간-65℃ 5시간유지 양생조건(III) : 표준양생 양생조건(II), 양생조건(III)
	410	-	-	2.15	192		8.5	3.3	
	370	60	-	2.15	183		9.5	3.0	
	330	-	120	2.15	192		8.5	3.0	
	390	78	-		186		8.5	3.0	
1종 시멘트	390	-	-	2.15	180	43	9.5	4.2	양생조건(I), 양생조건(II), 양생조건(III)
	430	-	-	2.15	181	43	9.5	3.8	

* FA : Fly ash

2.2.4 제품의 생산성 향상 및 고품질화

1) 기술개념

- ① 생산성 향상 및 고강도화 : 양생단축
- ② 자기충전 무증기양생 제품 : 생력화 및 설비투자 절감(양생설비 등)

2) 검토내용

- ① 현장 배합설계 및 적정 양생조건
- ② 증기양생을 생략한 자기충전성 및 1일 탈형강도 검증

3. 검토결과

3.1 도로 보수공사의 신속개방 및 장기 공용성

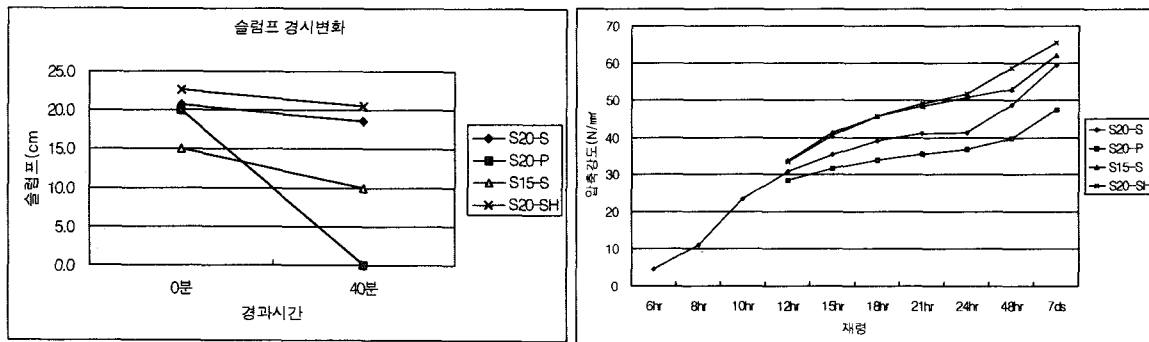
3.1.1 레미콘의 품질 영향인자 및 줄눈절삭(개통)시기

도로포장의 공용 휨강도를 24시간 이내에서 얻는 추천배합은 <표 4>와 같다. 그러나 교통혼잡성과 이동식B/P의 사용이 불가하여 레미콘 생산설비 활용과 아스팔트 포장과 같이 조기개통을 위한 줄눈 절삭(교통개방)을 비파괴에 의한 판정법이 필요하다.

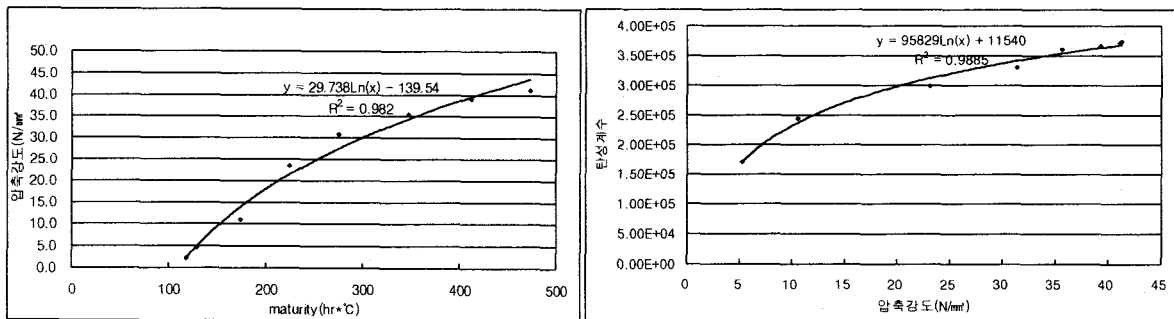
<표 4> 신속개방 OL포장재의 시방배합

배합조건		단위 재료량 (kg/m ³)				
W/C(%)	S/a(%)	조강시멘트	경화제	물	고성능감수제	특성개선제
35.5	45	450	9	160	8	8~13

운송거리별 품질을 제어하는 생산기술과 신속개방을 위한 줄눈 절삭시기에 대한 비파괴적인 결정기준에 대한 제안이 필요하며 검토결과는 <그림 6~8>과 같다.

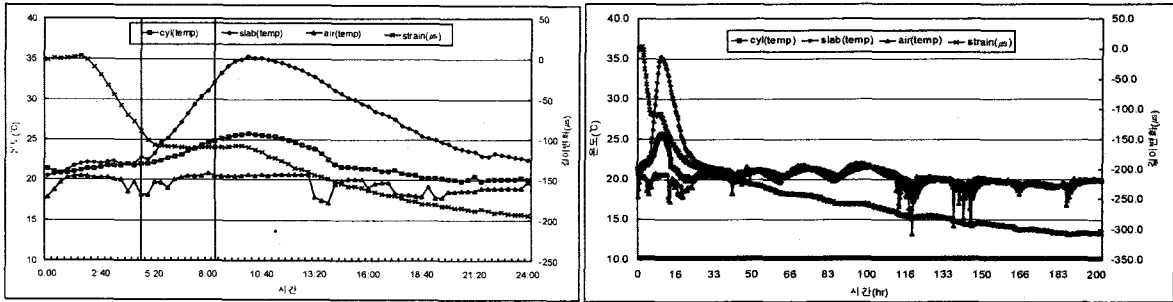


<그림 6> 배합조건별 운반시간 확보 및 초기재령 강도



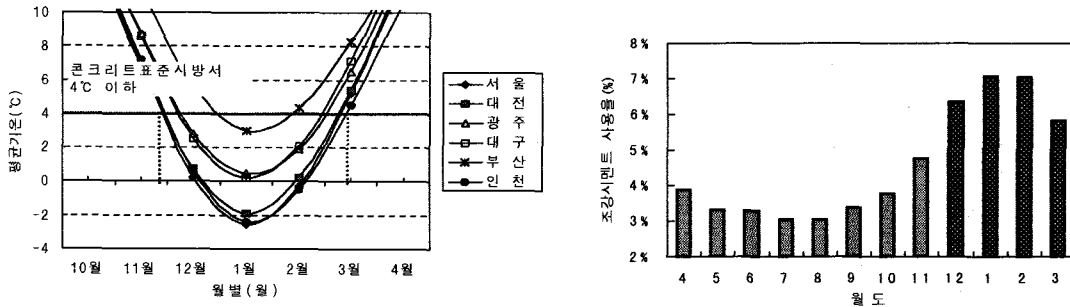
<그림 7> 초기재령 강도, Maturity, 탄성계수의 관계

슬래브 온도와 변형량을 측정된 결과, 5시간 이후에 온도가 상승되어 9시간까지 지속되는데 시기에 길이변화가 없고 줄눈 절삭으로 파손발생이 없는 충분한 강도(약 5N/mm² 이상)가 얻어졌다. 따라서 포장 슬래브의 변형 또는 적산온도를 측정하면 줄눈 절삭시기의 판정법으로 활용할 수 있다. 이런 방법으로 줄눈 절삭시기는 타설 5~6시간에서 9시간 이내가 바람직하다.



<그림 8> 타설 슬레브, 공시체의 수화열, 변형량에 대한 측정결과

3.2 한중 및 공기단축을 위한 적용성

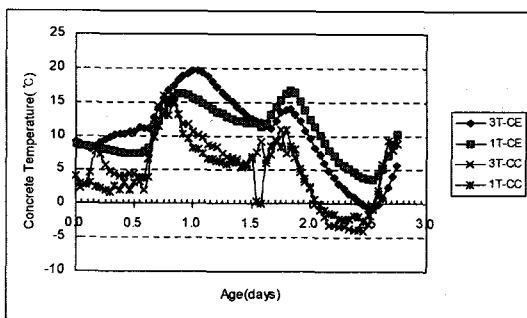


<그림 9> 국내 동절기 기후조건 및 계절별 조강시멘트의 출하실적 (일본)

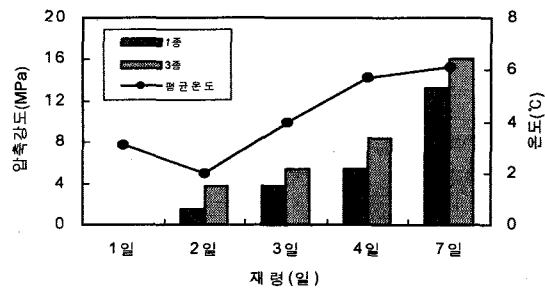
한중공사에서는 품질저하를 일으키는 요인은 많다. 예를 들면, 동절기의 밤낮의 외기온도(동해요인), 운반 및 대기, 펌프카 성능, 타설 조건 등 영향 요소들이 있다. 이러한 변동요인을 고려한 현장 배합설계가 필요하며, 현장조건을 고려하여 한중 콘크리트의 동해방지와 안정품질을 위한 최적배합을 안정율(변동계수 10%할증)을 주어 <표 5>와 같이 선정하여 동절기의 사용성을 평가하였다.

<표 5> 한중공사 및 공기단축을 위한 조강시멘트의 현장 배합설계(예)

설계기준강도	배합조건(%)		단위 재료량(kg/m ³)					1종 시멘트 사용량
	W/C	S/a	W	C	S	G	SP(%)	
25-24-15	57.9	45.9	177	306	811	982	0.5	344kg/m ³ (41)
25-27-15	53.5	44.9	178	333	783	986	0.5	377kg/m ³ (50)

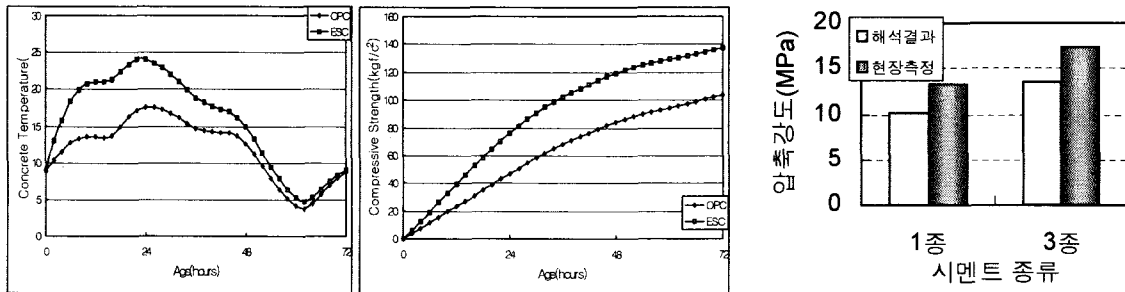


<그림 10> 타설시 콘크리트 온도 및 기온



<그림 11> 1종 및 조강시멘트 배합의 강도비교

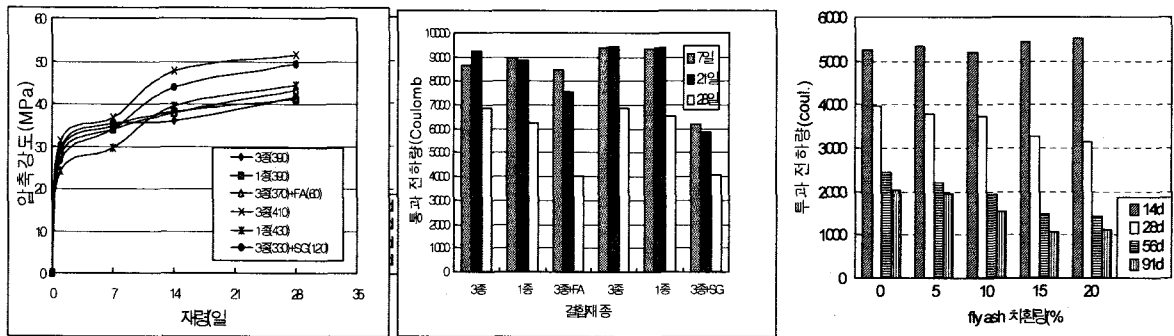
한편, 콘크리트 온도(수화열)를 측정하여 적산재령 강도를 추정한 결과, 3일재령 이내에서 약 30% 이상의 강도증가를 확인하였고 그 효과는 초기 양생을 약 1일정도 단축시켜 조강시멘트사용에 따른 레미콘 구매가가 약 15% 상승됨에도 불구하고, 보온양생, 일반관리비 절감으로 해당비목이 약 7% 절감되는 효과(32평형×2세대기준, 129㎡, 총비용 720만원에서 약 50만원 절감)가 있다.



<그림 12> 적산온도 및 적산재령강도(추정)과 현장 실측강도와와의 비교

3.3 내염성 평가

설계기준강도 35N/mm²의 해양구조물에서 검토된 배합은 28일강도가 41.5N/mm²이상으로 요구강도를 만족하였다. 특히 슬래그 또는 플라이애시를 첨가한 배합은 조강시멘트량을 약 10%정도 줄이고 전치양생 시간을 작게 하여도 요구강도를 만족하고 내염성은 증가하는데, 이런 경향은 재령이 경과되면 향상되고 특히 플라이애시 사용배합의 내염성은 장기재령에서 크게 향상되고 있다.



a) 배합별 강도발현 b) 배합별 내염성 c) 플라이애시배합의 재령별 내염성

<그림 13> 조강시멘트의 배합별 강도 및 내염특성

<표 6> 암거류 제품(설계기준강도 35N/mm²)의 배합설계 (승온 3시간 - 65℃ 유지 2.5시간)

시멘트	배합조건(kg/m ³)					슬럼프 (cm)	공기량 (%)	압축강도(N/mm ²)				전양생 시간
	S/a (%)	C	W	Ad.	Slump (cm)			1일	3일	7일	28일	
3종 조강	47	350	179	2.15	10±2	10.0	6.1	24.2	28.0	31.2	37.5	1:40
	45	370	181			9.5	5.0	29.6	32.0	34.7	42.4	1:25
	43	390	183	1.8		11.0	4.6	29.2	32.0	36.2	41.0	1:10
	45	370	181	2.15		9.0	4.4	27.1	30.6	35.0	39.5	1:00
1종	43	430	181	2.15		9.5	4.9	28.4	32.2	35.3	42.0	1:50

3.4 제품 생산성 향상 및 고품질화

암거류 제품에 설계기준강도(35N/mm²)를 만족하는 배합을 검토한 결과는 <표 6>과 같다. 이때 약 13%의 시멘트가 절감되고 전치양생은 1시간 정도 단축되어 생산성 향상효과도 확인하였다.

<표 7> 무 증기양생 자기충진(SCC) 암거제품의 재료조건

	화 학 성 분(%)										광 물 조 성(%)			
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Ig.loss	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	
조강시멘트	19.9	5.6	3.0	62.3	2.8	4.2	0.84	0.10	1.4	48.5	20.5	9.8	9.1	
기 타	조강재, 고성능 AE감수제, 고성능감수제(PNS, M), polysaccharide													

<표 8> 무 증기양생 자기충진(SCC) 암거제품의 시방배합

구분	Slump flow(cm)	배합조건(%)		단위재료량(kg/m ³)			유동화제(%)		다짐
		W/C	S/a	C	N	W	종류	양	
1	50±5	40.0	52	441	9	180	PC	1.5	미진동
2	60±5	37~40	52	490	10	185~200	PC, PNS	1.8~2.5	

<표 9> 시방배합의 특성

구분	배합조건		재료량(kg/m ³)				유동화제(%)		Slump flow (cm)	압축강도 (N/mm ²)		다짐 조건	표면 기포량
	W/C	S/a	C	N	FA	W	종류	양		1일	3일		
1	40.0	52	441	9	0	180	PC	1.5	54	29.5	50.2	미진동	양호
2-1	37.0	52	490	10	0	185	PC	1.8	63	32.0	48.3	무진동	불량
2-2		52	490	10	0	185	PC	1.8	63			미진동	양호
3	41.3	52	441	9	0	186	PNS	2.0	48	28.7	39.5	무진동	불량
4-1	39.6	52	490	10	0	198	PNS	2.5	56	28.2	40.9	미진동	양호
4-2		52	490	10	0	198	PNS	2.5	56			무진동	불량

콘크리트의 slump flow가 크고, 진동다짐을 한 조건은 제품의 기포발생이 작고 표면상태가 양호하였다. 또한, PC계 고성능 감수제를 사용한 slump flow가 높은 배합보다 유동성이 낮아도 미진동을 한 제품표면이 양호하다. 한편, PNS계 고성능감수제를 사용한 배합은 PC계 고성능감수제를 사용한 조건과 동등한 표면상태를 갖으나, 슬럼프 경시변화가 커서 유동성 손실을 고려한 타설계획이 필요하다.

4. 결 론

- 1) 조강시멘트가 도로보수 및 한중공사의 시공 분야와 해양구조물, 암거 등 공장제품의 생산 분야에서 우수한 특성이 발현되고 있다.
- 2) 특히, 이런 분야에서 품질, 시공성, 적용성(경제성)은 1종시멘트에 비해 양호함을 확인하였다.

3) 향후, 구미, 중국, 일본과 같이 조강시멘트의 확대보급을 위해서는 건설공사에서 공기단축과 내구성을 고려한 설계반영과 시공효과(경제성)에 대한 이해와 검증이 필요하다.

대보수 및 덧씌우기용 고성능 강성포장재료의 설계 및 시공기술개발”, 2000년 산학연 협동연구결과보고서(1, 2차년, 최종보고서)

2. 쌍용기술연구보고서, “콘크리트기능향상을 통한 시멘트 수요창출 연구”, 2003년12월

3. 임태선의 3인, “조강시멘트를 사용한 한중콘크리트의 현장품질 특성”, 2004년5월 한국콘크리트학회 봄 학술발표회

< 참고 문 헌 >

1. 건설교통부, “중하중 교통도로의 신속개방형