

고강도 레미콘의 토목분야 활용방안(Ⅱ)

오 병 환

(서울대학교 토목공학과 교수, 공학박사)

- | | |
|--------------------------------|--------------------------|
| 4. 고강도 레미콘의 활용방안 | 5. 고강도 콘크리트의 토목분야 적용사례 |
| 4.1 고강도 콘크리트의 활성화를 위한 관리 방안 | 5.1 국내 적용사례 |
| 4.2 고강도 콘크리트의 성능개선을 위한 자재관리 방안 | 5.2 국외 적용사례 |
| 4.3 고강도 콘크리트의 품질관리 방안 | 5.3 교량분야의 고강도 콘크리트 |
| 4.4 고강도 콘크리트의 활성화를 위한 제도적 개선방안 | 5.4 해양 구조물의 고강도 콘크리트 |
| | 5.5 원자력 발전소 분야의 고강도 콘크리트 |
| | 6. 결론 |

4. 고강도 레미콘의 활용방안

4.1 고강도 콘크리트의 활성화를 위한 관리방안

(1) 고강도에 따른 고슬럼프의 확보

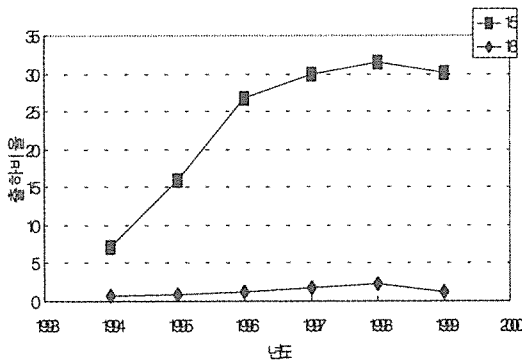
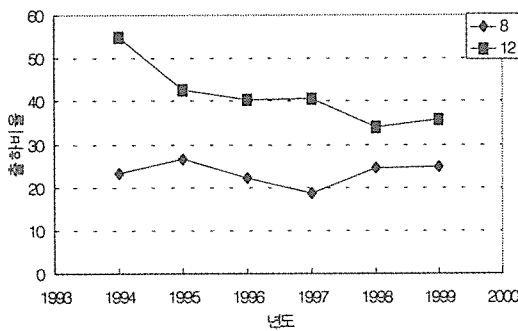
제품의 고강도화가 이루어짐에 따라 이전에 비해 시멘트 사용량이 많아지게 되고 이러한 점은 워커빌리티를 저해할 수 있는 요인이 된다. 최근 혼화제의 사용을 통해 많은 개선이 이루어지고 있으며 이러한 점은 슬럼프의 확보 유무로 평가하는 것이 일반적이다. 슬럼프 8~12cm 범위의 레미콘이 전체 출하량의

91.88%로 거의 대부분을 차지하고 있지만 95년에는 79.48%, 96년에는 71.47%, 97년에는 67.86%, 98년도에는 65.89%로 점차 감소하고 있다. 또 슬럼프 15cm 규격은 94년도 7.24%에 불과하였으나 매년 그 증가하여 98년도에는 31.42%의 큰 폭의 증가세를 나타내었다. 슬럼프 18cm 역시 94년도에 0.66%이던 것이 95년에는 0.80%, 96년에는 1.18%, 97년도에는 1.80%로 증가하였다. 슬럼프 21cm 역시 94년도 0.14%에서 98년 0.25%로 증가하고 있는 추세로 밝혀졌다. 그러나 더욱 큰 차이는 15cm 이상의 고슬럼프 규격의 출하비중에서 나타나는데 94년에는 8.12%이

던 것이 98년에는 31.8%로 대폭 상승하였다. 이러한 이유는 현장 레미콘 타설은 펌프카에 의존하고 있으며 구조물에 대한 안전성을 위해 배합 및 치기에 많은 배려를 하기 때문이다. 이러한 추세는 더욱 증가하리라고 예상할 수 있다. 아래의 <표 4-1>에서는 슬럼프별 레미콘의 출하실적을 나타내고 있으며 이를 [그림 4-1]에 나타내었다.

(표 4.1) 슬럼프별 레미콘의 출하실적

슬럼프 (cm)	점유비(%)					
	1994	1995	1996	1997	1998	1999
8	23.24	26.53	22.09	18.68	24.58	24.72
12	54.94	42.53	40.36	40.72	34.00	35.87
15	7.24	15.98	26.86	29.99	31.42	30.07
18	0.66	0.80	1.18	1.80	2.29	1.23



(그림 4.1) 슬럼프별 레미콘의 출하실적

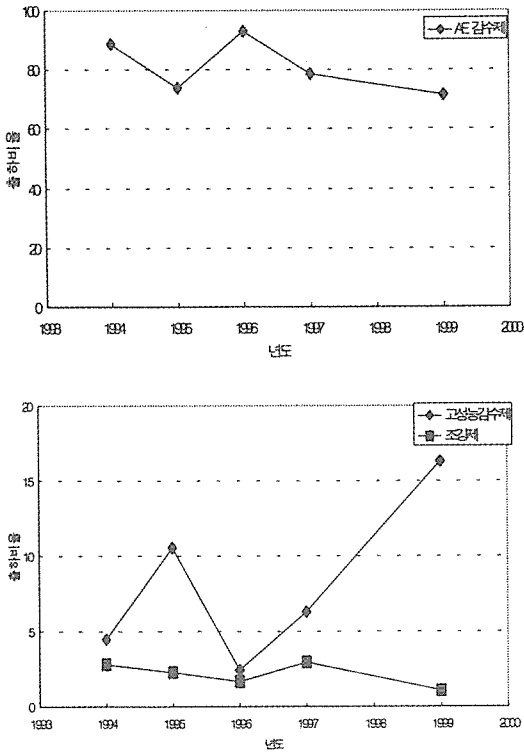
(2) 유동화제 및 고성능 AE감수제의 사용에 따른 품질확보

고강도 레미콘의 수요가 늘어날수록 중요성이 커지는 것이 바로 혼화제인데 레미콘용인데 레미콘용 혼화제의 소비실태를 조사한 결과에 따르면 AE 감수제가 전체 혼화제의 70% 이상을 차지하고 있는 것으로 드러났다. 레미콘용 혼화제는 감수제, AE 감수제는 시멘트의 분산작용 또는 공기연행작용에 의해 시멘트 사용효과를 증가시키고 단위수량을 감소시키므로 점차 그 사용빈도가 높아지고 있다. 이처럼 혼화제는 레미콘의 제조에 있어서 그 양은 작다고 할 수 있으나 효과면에서는 매우 중요한 역할을 하고 있다. 특히 고성능 감수제는 94년도에는 4.5%, 95년에는 10.52%, 96년에는 2.42%, 97년에는 6.28%, 98년에는 6.55%로 사용되어 오다가 1999년에는 16.32%로 증가하였다. AE감수제의 사용비율은 혼화제중 가장 큰 비율을 차지하고 있는데 증가추세는 고성능 감수제의 증가로 인해서 다소 감소하고 있는 실정이다.

조강제의 경우에 있어서는 시멘트의 품질관리 방안이 개선됨에 따라 94년에 2.84%이었으나 99년에는 1.03%로 감소하고 있다. 즉 레미콘의 고강도화에 따라 고성능 감수제의 증가가 계속 예상되고 있으며 이는 더욱 증가될 예정이다. <표 4-2>에서는 혼화제의 사용실태를 나타내고 있으며 이를 [그림 4-2]에 나타내었다.

(표 4.2) 레미콘용 혼화제의 소비실태

혼화제	점유비(%)					
	1994	1995	1996	1997	1998	1999
AE감수제	88.69	73.88	93.03	78.67	73.35	71.57
고성능감수제	4.50	10.52	2.42	6.28	6.55	16.32
조강제	2.84	2.29	1.63	2.93	12.15	1.03



(그림 4.2) 레미콘용 혼화제의 소비실태

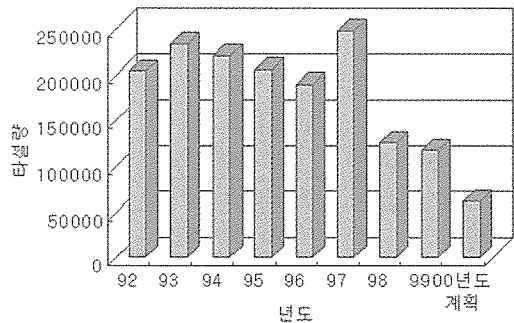
(3) 혼화재료의 적절한 사용을 통한 품질개선

혼화제와 같이 최근 재료적 개선을 통한 구조적, 내구적 성능개선방법중 하나가 혼화재료이다. 혼화재인 플라이 애쉬나 고로 슬래그는 국내 생산에 따라 점차 그 사용이 증가되어 가고 있는 실정이며, 실리카흄이나 포졸란은 국내 생산의 거의 없으나 최근에는 연구대상에서 점차 실제 적용화 되어 가고 있는 추세이다. 콘크리트 전문가들은 플라이애쉬나 고로 슬래그 등의 혼화재를 레미콘 제조에 사용함으로써 에너지 절약과 환경오염을 줄일 수 있는 부산물 재활용에 관심을 기울이고 있다. 이런 혼화재의 사용은 점차 그 사용이 증가할 것으로 예상되고 있으며 관련 시방안의 작성 및 적용 사례의 증가가 필요한 실정이다.

(4) 고유동 콘크리트 실용화와 보급

각종 고성능의 혼화제 개발이 활발하게 이루어져 자기충진, 고유동콘크리트를 처음 제의한 일본의 경우 실용화 및 보급상황을 살펴보면, 고유동콘크리트를 건설현장에 타설한 건설회사는 점차 증가하고 있는 추세지만, 전체 타설량은 97년도 25만^m를 넘는 대형공사건이 그 동안 감소되었던 것과 아울러 전체적인 건설경제가 침체에 들면서 나타난 현상으로 판단된다. 또한 1999년 말까지 일본의 건설·시멘트 관련업체가 53개 사가 고유동콘크리트의 종류별 누적타설량은 150만^m정이다. 각 건설사별로 고유동콘크리트의 타설량은 대부분 대기업의 종합건설사를 중심으로 편중되어 있는 실정이다. <표 4-3> 및 [그림 4-3]에는 고유동 콘크리트의 연도별 타설량을 나타내고 있다.

한편, 건축분야에서 고유동 콘크리트가 대표적으로 사용되는 CFT(Concrete Filled Tube ; 콘크리트 충전강관)구조용으로는 98년 전후로 급격히 증가하는 구조가 뚜렷하다. 이는 CFT적용사례의 증가와 CFT구조의 특성상 콘크리트에 요구되는 성능이 고유동 성능을 필연적으로 요구하는 조건을 가지고 있기 때문으로 판단되며, 향후 계속적으로 사용량이 증가될 것으로 전망된다. 이와 같이 최근



(그림 4.3) 고유동 콘크리트의 연도별 타설량

(표 4.3) 일본의 고유동콘크리트의 연도별 타설량 추이 (단위 : m³)

분류	92년이전	93년도	94년도	95년도	96년도	97년도	98년도	99년도	'00년도
합계	203,111	233,489	220,290	205,701	188,985	247,413	125,543	117,704	61,380

일본의 고유동 콘크리트 개발 및 현장타설 적용사례는 증가추세에 있지만, 대부분의 경우 대기업의 종합건설사를 중심으로 편중되어 있는 상황으로 기타 건설현장 전체에서 일반화되어 사용되기 위한 원활한 생산, 유통시스템이 전체적으로 구성되어 있는 상황은 아닌 것으로 지적할 수 있다.

즉, 현재 고유동 콘크리트를 개발하고, 생산하는 주체가 레미콘업체가 아닌 종합건설업체로서 품질 및 성능결정, 조합결정, 품질관리를 주도하여 레미콘업체는 생산 시스템을 빌려주는 정도에 그치고 있는 실정으로 현 단계에서 고유동콘크리트의 보급상황은 생산 구조적 한계를 가지고 있다고 지적할 수 있다.

일본 건설업체들에게 향후 20년 후 고유동 콘크리트가 어느 정도까지 보급될 것인가에 대한 인식조사한 자료에 의하면, <표 4-4>와 같다.

(표 4.4) 향후 건설생산 현장에 고유동 콘크리트가 보급될 전망

	전망 및 견해	빈도	
현재의 생산량 수준에 머무를 것이다	전 콘크리트 생산량의 1%정도	25	
사용량이 현재보다 어느 정도 증가될 것이다	전 콘크리트 생산량의 1~10%정도	13	53
	전 콘크리트 생산량의 10~20%정도	24	
	전 콘크리트 생산량의 20~30%정도	10	
	전 콘크리트 생산량의 50%정도	6	
기타, 불명	-	22	

이와 같이 현재의 사용량에 그칠 것이라고 보는 견해보다 어느 정도 사용량이 증가할 것이라는 견해가 많지만, 대부분 「특수한 콘크리트로서 한정되어 보통 콘크리트를 대신하여 보급·사용되는데는 한계가 있을 것이다.」라고 보는 견해가 대부분으로, 향후 고유동콘크리트의 활발한 보급에 대하여는 그다지 희망적인 전망을 하고 있지는 않다.

그러나, 한편으로는 구조체의 내구성 및 유지관리 등에 대하여 사회적인 인식의 변화가 요구되고 있고, 콘크리트 구조물의 내구성 향상을 위한 고성능, 고품질 콘크리트의 적용과 콘크리트의 강도설계에서 내구설계의 변환 등, 고성능의 콘크리트를 사용해야 한다는 당위성 및 필요성은 충분히 인지하고 있는 상황을 감안한다면, 고유동콘크리트의 생산 및 유통 전반에 걸친 구조적인 문제의 해결이 가장 큰 과제라 할 수 있다.

구조적인 생산시스템의 문제를 가장 현실적으로 접하고 있는 건설관련업체가 보는 관점에서라면 향후 보급에 있어 다소 조심스러운 의견이 대부분인 것으로 나타나고 있지만, 각 건설관련업체의 입장을 고려하여 문제점을 고려해 보면 아래와 같이 제도적 관리행정상의 문제점과 생산시스템의 구조적인 문제점을 지적할 수 있다.

- 건설관리행정상 시공과 내구성을 고려한 콘크리트 구조물의 설계가 이루어진다면, 다른 소재의 상승이 된다고 해도 보통콘크리트를 대신하여 고유동콘크리트가 사용될 가능성이 많다.
- 현재의 사양규정으로부터 성능규정으로의 전환 등으로 최종구조물의 품질을 보

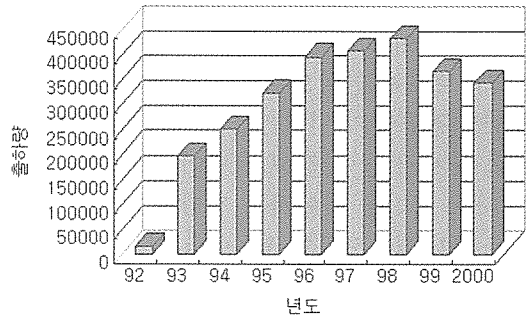
(표 4.5) 고유동 콘크리트를 사용한 콘크리트 2차 제품 출하현황(단위 : m³)

분류	92년도	93년도	94년도	95년도	96년도	97년도	98년도	99년도	'00년도
합계	15,000	195,750	250,067	321,810	394,810	404,991	431,643	365,286	341,800

중, 성능등급을 표시하는 등의 품질규격 제도 등에 의해 새로운 기술의 적용이 활발히 이루어지는 길이 열리게 되면, 보통 콘크리트와 특수콘크리트와의 격차는 거의 없어지게 될 것으로 기대하며, 고유동 콘크리트가 보통콘크리트를 대신하여 사용될 가능성도 크다.

- 고령화 사회가 도래되어 라이프사이클코스트(Life Cycle Cost)의 개념을 중심으로 고내구성콘크리트의 중요성을 발주자가 이해하여 성능향상과 비용절감의 가능성이 제시되고, 안정된 품질로 원활한 공급, 생산체계가 이루어진다면 대폭적으로 증가할 것이다.
- 고유동콘크리트의 제조, 시공기술을 보유하고 있지 않은 일반 건설, 시공업체는 고유동콘크리트를 적용하고 싶은 구조물이 있어도 제조, 시공능력이 없어서 고유동콘크리트의 채용을 보류하거나, 포기하는 경우도 상당히 많은 것으로 추정되고 있어, 고유동콘크리트의 개발 및 적용이 건설기술개발에 어느 정도 여유가 있는 실정으로, 생산의 주체가 레미콘업체가 되어 보통콘크리트처럼 일반 상품화되어야 할 필요가 있다.

고유동 콘크리트를 콘크리트의 2차 제품으로의 활용은 <표 4-5>와 같이 일본의 경우 99년도 출하누계량이 224만여 톤에 달하고 있으며, 건설생산현장에서와는 대조적으로 제품분야의 사용량은 매년 지속적으로 증가되고 있으며, 공장내의 작업환경의 개선, 공장주변의 소음대책 등을 목적으로 당초에는 기술개발에



(그림 4.4) 고유동 콘크리트를 사용한 콘크리트 2차 제품 출하현황

적극적인 회사가 몇 군데 되지 않았지만, 현재에는 여러 회사에서 적극적으로 이용하여, 적용대상제품도 지속적으로 확대되고 있는 추세에 있다.

2차 제품에의 고유동콘크리트는 대부분의 경우 분말계를 사용하고 있으며, 출하량이 가장 많이 차지하고 있는 품목으로는 흙판으로서 컬버트류를 중심으로 대부분이 적용되고 있다.

향후 20년 후에 고유동콘크리트가 콘크리트

(표 4.6) 향후 콘크리트 2차 제품에 고유동콘크리트가 보급될 전망

	전망 및 견해	빈도	
일반화될 것이다	100% 보급될 것이다	38	
	프리캐스트 제품의 80% 정도로 보급될 것이다		
	50%정도 보급될 것이다		
특수한 콘크리트로 한정될 것이다	전 콘크리트 생산량의 30%정도	9	14
	전 콘크리트 생산량의 20%정도	5	
기타, 불명	-	24	

의 2차 제품으로서 어느 정도 보급될 것인가에 대하여는 <표 4-6>과 같이 고유동콘크리트의 보급 및 일반화가 활발히 이루어 질 것으로 전망하고 있어, 건설생산업체와 다소 대조적인 견해를 보이고 있다.

이와 같이 고유동콘크리트는 아직 특수한 콘크리트라는 인식으로 건설생산현장에서 활발하게 적용되기 위해 앞으로 해결해야 될 구조적 문제점 등이 장애가 되어 일반화되기에는 다소 어려울 것이라는 전망이 대부분이었으나, 2차 제품으로의 적용에 있어서는 건자재의 생산구조가 복잡하지 않기 때문에 콘크리트의 고성능을 적용하기가 용이하다는 것을 시사하고 있다.

4.2 고강도 콘크리트의 성능개선을 위한 자재관리 방안

(1) 시멘트

레미콘산업에서 시멘트의 품질확인 은 성적서로 가름하는 경우가 많다. 그러나 비수기의 잘못 관리된 클링커로 제조된 시멘트 및 성수기에 미쳐 냉각되지 못한 클링커로 제조된 시멘트 등은 레미콘품질에 악영향을 미칠 수 있다. 그러므로 시멘트를 대량 사용하는 레미콘회사는 레미콘 품질향상과 관련하여 시멘트를 납품 받을 시에는 일정한 주기마다 품질을 반드시 재확인할 필요가 있다.

(2) 골재

최근 골재의 품질이며, 수급사정은 매우 열악해지고 있다. 그러므로, 양질의 골재품질이 되기 위하여는 많은 관심과 시설투자 등이 필요한데, 특히 골재는 표준입도 범위내에서 일정한 입도분포로 계속 납품되는지를 철저히 조사하고, 상당부분의 변화가 감지되면(조립율 0.2 이상) 배합을 변경하는 등 후속조치가

따라야 한다.

또한, 골재의 표면수 측정을 엄밀히 하여 형식적이 아닌 실제적 레미콘 출하에 이용하도록 하고, 골재 저장시설에도 잡물의 혼입방지, 바닥의 배수시설 및 일광직사방지 등 시설을 갖추도록 하여야 하는데, 궁극적으로는 싸일로 형식의 골재저장방식이 도입되어야 양질의 레미콘을 제조할 수 있다.

(3) 혼화재료

콘크리트의 특수성질개량 및 경제성 성취 등을 목적으로 이용되는 혼화재료 중에서 레미콘 생산시 반드시 사용하여야 하는 것으로 AE제 및 AE성분을 갖는 감수제 등이다.

AE제에 의한 AE공기량은 콘크리트의 내동해성 확보목적상 중요시 되어 전체 공기량 보다는 AE공기의 크기 및 간격이 더욱 중요하지만 이를 굳지 않은 상태에서는 측정할 수 없으므로 편의상 전체 공기량이 관리의 대상이 된다. 그러나 우리나라 실무의 일부 레미콘에서는 AE제의 품질보다는 가격적인 측면에만 관심이 집중된 관계로서, 레미콘 제조시 만들어진 기포가 매우 크고 불안정하여 경시변화에 의한 공기량 손실이 크고, 또한 탈형된 거푸집면의 큰 기포에 의한 미관손상, 내구성저하 등 열악한 경우도 자주 발생한다.

4.3 고강도 콘크리트의 품질관리 방안

(1) 레미콘 품질관리의 현황과 과제

레미콘은 KS F 4009 레디믹스트콘크리트의 규격 및 심사사항에 그 요구품질, 제조관리의 방법이 세부에 걸쳐 규정되고, 그에 기초해서 제조된다. 레미콘공장은 이들 규격·기준을 만족하는 설비·조직체제를 갖추고, 회사내의 모든 업무를 표준화하고, 사원을 교육시켜 품질이 안정된 제품을 제조한다. 레미콘 품

질관리의 포인트는 경영자의 품질의식, 실제로 업무를 담당하는 책임자의 실력과 좋은 품질의 콘크리트를 만들려는 의지 및 전사원의 품질향상에 대한 확고한 자세이다.

국가에서는 레미콘공장에 대해서 상기의 규격, 기준에 맞는 체제를 갖추고, 실행되는지 확인심사를 해서 합격하면 KS 마크 표시를 인가해서 사용자(User)의 제품선정 시에 편의성을 도모하고 레미콘 공장 자체의 품질보증도 하고 있다. 또한 국가는 품질보증의 입장에서 KS 표시 인가공장에 대해서 정기적으로 출입검사하여 소정의 품질이 얻어지는 체제가 유지되는지, 소정의 품질이 확보되는지 확인하고 있다.

한편, 레미콘업계에서도 품질관리 감사제도를 만들어 자체감사를 통한 품질안정화에 노력하고 있다. 그러나, 사용자(User)에게서 내부감사의 노력을 크게 인정하지 않아서 투명성, 공정성을 부여한 품질관리감사제도를 조직하여 실시하는데 이르고 있다.

(2) 레미콘 공장에서의 품질관리

레미콘공장에 대한 품질관리의 플로우는 (그림 4-5)에 나타난 것과 같으며, 다음은 레미콘의 품질관리상 특히 주의할 사항을 요약한다.

① 골재사정의 악화

골재사정은 지역적으로 약간의 차이는 있어서 전국적으로 골재의 사정을 일반화하여 일률적으로 논할 수는 없지만, 대체로 품질이 좋은 골재가 부족하여 골재사정이 악화되고 있는 추세

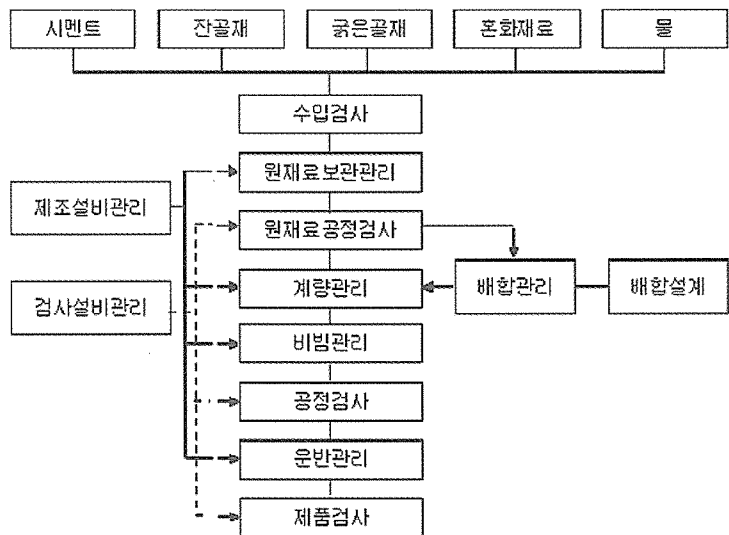
이다. 특히, 대소비지역인 도시부근이나 그 주변의 내륙부근에서는 골재사정이 더욱 심각하다. 양질의 강모래, 강자갈의 부족으로 부순모래 부순자갈 및 바닷모래 등의 사용량의 증가에 따라 품질확보의 어려움이 있으며, 이러한 질이 떨어지는 골재의 사용은 레미콘의 단위수량을 증가시키는 요인이 되고 있다.

② 모래의 표면수의 관리

모래의 표면수의 변동은 레미콘의 품질에 크게 영향을 미친다. 따라서, 표면수의 변동을 작게 하는 노력을 하지 않으면 안 된다.

현재의 레미콘 제조시스템 중에서는 반입된 모래를 저장시에 가능한 한 세척한 후에 사용한다. 특히 해사를 사용하는 경우는 세척이 필수적이다. 사용시에 표면수를 측정하고, 보정장치에 그 값을 세팅하여 보정한다. 표면수 측정은 1일에 3회이상 측정하는 경우가 많지만, 이것으로 충분히 관리된다고 말하기는 어렵다.

골재의 구입 시에는 골재업자에게 표면수의 범위를 구입조건으로 나타내 안정화를 도모할



(그림 4.4) 레미콘 공장에 있어서의 QC의 flow

필요가 있다. 또한 앞으로는 연속 자동 표면수 측정장치를 사용해서 실제 레미콘 제조시에 표면수를 보정하는 시스템을 적극적으로 받아 들여 활용할 필요가 있다.

③ 슬러지 수의 관리

반품된 콘크리트, 남은 콘크리트 처리는 고정 처리나 골재를 회수하여 슬러지화하여 처리하는 방법 등이 있다. 이 중, 골재를 회수한 후의 슬러지를 일정 농도로 관리한 슬러지수를 비빔수로서 사용하는 경우, 슬러지 고형분으로 단위시멘트량의 3%까지 혼입된 것은 인정되고 있다. 이 경우도 레미콘의 슬럼프를 동일하게 한 경우 슬러지 혼입률 1%에 대해 1.2%의 단위수량이 증가된다. 혼입률을 3%로 한 경우 3.6% 단위수량을 증가시키지 않으면 안 된다.

반품 콘크리트, 남은 콘크리트의 처리에는 어떠한 방법을 사용하더라도 그 처리비용이 많이 들고, 슬러지수를 레미콘에 혼입하는 경우 건조수축을 일으키는 요인인 단위수량의 증가 등 품질을 저하시키는 원인이 된다. 시공 현장에 있어서는 반품 콘크리트가 발생하지 않도록 노력하는 것이 바람직하고, 더욱이 반품 콘크리트를 재이용할 수 있도록 하기 위한 기술개발이나 시스템 구축이 요망된다.

④ 오퍼레이터, 믹서차 운전수의 교육

레미콘의 품질관리에 있어서는 전 사원이 항상 품질의식을 가져 행동하는 것이 기본이다. 특히, 제조를 담당하는 오퍼레이터는 레미콘의 품질을 좌우하는 핵심 기술자로서 콘크리트나 레미콘 제조에 관한 충분한 지식과 경험이 필요하다.

또한, 운반차의 운전수는 그 행동에 의해서 레미콘의 품질이 크게 바뀌는 요소를 가지고 있다. 따라서, 운전수에 대해서는 레미콘의 기

본적인 지식, 운반중의 품질에 영향을 미치는 주의사항에 대해서 반복하여 교육하는 것이 중요하다.

(3) 레미콘의 품질을 위한 시공관리

콘크리트의 타설은 특수한 콘크리트를 제외하고는 대부분이 펌프압송에 의한 방법으로 행해진다. 인원은 펌프차 1대에 대해 압송업자 2~3명이다. 그 후 다짐을 행한다. 최근에는 펌프차의 컨트롤은 리모콘으로 행하는 경우가 많으며, 일련의 시공관리를 원도급 담당자 또는 전문가(Consultant)가 담당하는 체제가 이뤄지고 있다. 이와 같이 실제로 레미콘을 현장에서 다루고, 그 양부를 판단하여 주문을 덧붙이는 펌프 압송업자가 있고, 보내준 레미콘을 고르게 다짐하는 하도급업자가 구분되어 있다. 그 판단 기준은 펌프 압송이 쉽고 어려움 및 다짐의 용이 등, 어떻게 효율적으로 일을 할 수 있는가하는 것이다.

① 슬럼프의 상한 설정 요구

예를 들어, 부림 시의 슬럼프 $18 \pm 2.5\text{cm}$ 의 사양에 대해서 슬럼프 20.5cm의 요구가 있다.

이것은 슬럼프의 변동을 표준편차로 0.7cm로 하고 슬럼프 18.5cm~22.5cm 콘크리트의 주문을 의미한다. 또한 슬럼프가 18cm 이하의 레미콘은 KS의 허용범위내에 있어도 시공되지 않는다는 이유로 반품시키는 경우가 있다.

슬럼프 상한 요구는 콘크리트의 단위 수량의 증가에 크게 영향이 있고, 이에 따라 단위시멘트량의 증가는 레미콘 업계의 비용 상승이 되고 있다. 이와 같은 슬럼프 상한 요구는 토목, 건축에 제한되어 대부분 100% 가까운 현장에서 행해지고, 사양의 결정방향이 시공능력로 이어져 시공방법이 문제가 된 것으로 사료되어 사양의 설정방향을 올바르게 설정하여야 할 것으로 생각된다.

② 펌프 시공을 의식한 재료, 배합

현장에서 [펌프가 막혀 레미콘이 불량하다.], [재료분리가 나타난 레미콘이 불량하다.] 등의クレ임이 나타나는 경우가 있다. 또한 2개 회사 이상의 복수 반입의 경우 1회사만 잔골재율이 적은 경우나 모래의 입도가 거친 경우, 그 1회사의 레미콘이 펌프의 통과가 불량하게 된다. 이와 같은 사태를 막기 위해 레미콘 공장에서도 펌프 압송성을 고려하여 잔골재율이 다소 높은 배합을 사용하고 있다. 또한 굵은 골재의 입도에 있어서도 범위의 하한에 접근된 세립의 입도가 일반적으로 사용되고 있다. 이것은 모두 레미콘의 단위수량을 낮추는 요인이 되고 있다.

③ 펌프업자, 하도급업자의 교육

전술한 것과 같이 현장에서 실제로 레미콘을 처리하는 펌프업자가 있고, 하도급업자가 있는 것을 고려할 경우 좋은 콘크리트 구조물을 만들기 위한 시공상의 요건은 이들 업자가 레미콘을 올바르게 취급·처리하는 기술·지식을 가지고 어떻게 처리하는가 하는 것이다. 이들 업자가 작업의 효율에 어느 정도 도달하는 건설업체의 환경 구축을 요망하는 것이다.

④ 현장 콘크리트 관리담당자의 자세

2000년에 ISO의 레미콘 규격에 추가될 것으로 예상되는 유럽콘크리트 규격(EN 206)에 의하면 「구조물에 사용되는 콘크리트에 요구되는 특성은 사용장소에서 소정의 시공순서에 따르지 않는 한 얻을 수 없다.」로 되어 있고, 현장에서의 펌프압송, 타설, 다짐, 양생이 요구사항으로 행해지는 것이 강조되고 있다. 현장콘크리트 관리담당자는 레미콘 제조업체, 펌프업자, 하도급업자 등의 관련업자에 대해서 우수한 콘크리트 구조물을 만들기 위해 올바른 자세를 명확히 제시해야 한다.

4.4 고강도 콘크리트의 활성화를 위한 제도적 개선방안

① 고성능콘크리트의 특징을 살린 설계·시공 방법의 개발과 라이프사이클코스트(Life Cycle Cost)의 개념을 중심으로 고내구성 콘크리트의 중요성을 발주자가 이해하는 것.

② 건설관리행정상 고성능콘크리트의 콘크리트를 적극적으로 활용할 수 있도록 시공적 산업의 반영 등, 제도적인 장려기능이 필요.

③ 고성능콘크리트가 가지고 있는 고내구성을 설계자가 적극 활용할 수 있도록 하고, 시공자가 적극적으로 어필하는 것.

④ 고성능콘크리트의 이점을 충분히 이용해 건설현장에서의 시공효율을 극대화할 수 있는 방안을 구체적으로 강구.

⑤ 레미콘에 대한 ISO 규격이 차례로 제정되고 있는 가운데 KS 규격의 국제 규격화를 위해 전근대적인 평가항목이 존재하거나 일부 요소에 대한 시험방법이 없는 등 불합리한 시멘트 관련한 규격이 개정되어야 한다.

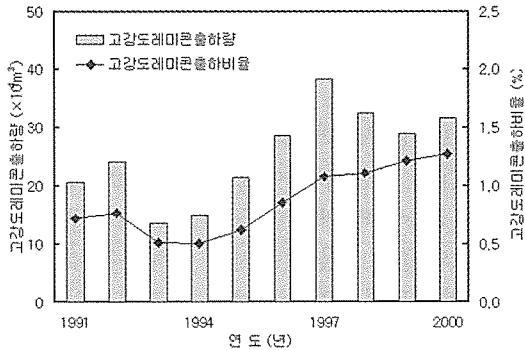
⑥ 레미콘 업계에서 폐기물을 사용하고 있으나 관련 규격이 없어 문제가 되고 있으며 폐기물 관련 규격을 제정함과 아울러 플라이애쉬와 고로슬래그 등 혼화재 투입량을 ISO 규격에 맞춰 조정해야 한다.

5. 고강도 콘크리트의 토목분야 적용 사례

5.1 국내 적용사례

(1) 고강도레미콘의 생산

[그림 5-1]은 1990년부터 2000년까지의 고강도레미콘(강도 30Mpa 이상)의 출하량 및 출하비율을 나타낸 것이다. 이 현황을 토대로 살펴보면 고강도레미콘의 생산량이 아주



주) 이 현황은 전국에 있는 레미콘공장을 대상으로 한 것이 아니라 전국에 있는 레미콘공장 중 조사에 응답한 레미콘공장에 대하여 레미콘 생산현황을 나타낸 것임

(그림 5.1) 연도별 고강도레미콘의 출하량 및 출하비율

크게 증가한다고 말할 수는 없지만 생산되는 레미콘의 강도가 점차 고강도화되고 있는 것을 알 수 있다.

(2) 고강도레미콘의 토목분야 적용사례

〈표 5-1〉은 국내에서 고강도콘크리트를 사용한 토목구조물의 시공사례를 나타낸 것이고, 구조물에 사용된 배합은 〈표 5-2〉와 같으며 고성능 AE감수제는 나프탈렌계가 많이 사용되었고 현재는 폴리카본산계 감수제도 사용되고 있다. 1985년에 올림픽대교 상판에 40Mpa의 고강도 콘크리트를 사용한 이후에 대부분의 장지간 교량과 PSC교량에 40Mpa의 고강도 콘크리트가 사용되고 있으며, 서울의 북부순환도로에는 45Mpa의 고강도 콘크리트가 사용된 사례가 있다. 또한 고속철도 상판공사에 40Mpa의 고강도 콘크리트가 보편적으로 사용되고 있고, 인천 LNG 지하식 저장탱크 지중연속벽에 4종 시멘트를 사용하여 40Mpa 강도의 고

강도 고유동 매스콘크리트로 타설되었다. 그러나, 이러한 장대교량 또는 PSC 교량의 콘크리트 강도는 40~50Mpa 수준에 머물고 있는 실정으로, 아직까지 해외 선진국의 고강도 콘크리트 수준(60~80Mpa)에는 못 미치는 실정이다.

최근에는 한강의 남단과 선유도를 잇는 교량에 고강도 콘크리트보다 발전된 재료로서 초고성능 콘크리트(Ultra-High Performance Concrete)가 사용되었다. 본 교량은 뉴밀레니엄을 맞이하여 서울시와 프랑스 2000년 위원회의 공동기념사업으로 계획된 선유도 연결 보행전용 교량 설치공사 구간 중 한강 유심부를 통과하는 주요교량으로서 최첨단의 초고성능 콘크리트(UHPC, Ultra-High Performance Concrete) Ductal을 소재로 한 지간 120m의 양단고정 단경간 아치교로 설계·건설되었다. 이 교량에 사용된 초고성능 콘크리트 Ductal은 프랑스에서 개발한 최첨단 신소재로서 초고강도와 연성특성을 구현함

(표 5.1) 고강도콘크리트를 사용한 토목구조물의 시공사례 (한국)

공사명	시공회사	연도	강도 [kgf/cm ²]	비고
88올림픽대교	유원건설	1989	400	슬래브에 사용
팔당대교	유원건설	1989	400	주두부, 슬래브
수석교	공영건설	1989	400	
하동 IC	한양	1987	400	
반계교	삼표산업	1988	400	Beam
성북육교	삼표산업	1988	400	
길음교	(주)삼호	1988	400	
원곡입체교	고려개발	1988	400	
신용산지하차도	신동아 종합건설	1987	350	
영도지하차도	동아건설	1989	350	
올림픽대로	유원건설	1989	400	
군산철도이설	(주)대우	1989	400	
노량대교	진흥기업	1989	400	
서해대교	(주)대림산업	1997	(400) (300)	Fly-Ash 사용
북부간선도로	삼성건설	1998	450	

(표 5.2) 국내 고강도콘크리트 적용배합

구조물 (적용부위)	적용 년도	fck (kgf/cm ²)	Gmax (mm)	W/B (%)	s/a (%)	Unit Weight(kg/m ³)					고성능AE 감수제의 종류
						W	B	S	G	SP	
올림픽대교 (주탑, 상판)	1987	350	20	29.4	35.5	141	400	615	1,139	4.00	나프탈렌계
고속철도 (상판)	1998	400	20	37.0	43.0	174	470	709	937	5.17	나프탈렌계
인천LNG탱 크 15,16호기 (지중연속벽)	1999	400	20	29.2	48.8	174	341 (석회석 미 분말 254)	743	789	7.44	폴리카본산계

으로써 종래 강교형식으로서만 가능하였던 최소단면의 슬랜더한 아치교의 계획을 가능케 하였다. 고강도 콘크리트 분야의 기술개발을 통해서 현재 고강도 콘크리트의 압축강도는 60~80Mpa 수준에서 적용되고 있는 반면에, 초고성능 콘크리트(UHPC) Ductal은 압축강도의 수준이 200~800Mpa 정도로서 기존의 고강도 콘크리트보다 탁월한 압축강도를 발휘하고 초고강도·고연성 능력과 더불어 우수한 내구성을 확보하는 재료로서 기대되고 있다.

5.2 국외 적용사례

고강도 콘크리트의 토목 구조물에서의 응용은 주로 보의 깊이를 줄이거나 마모에 대한 저항을 높이기 위하여 교량에 주로 사용되어 왔으며 차츰 원자력발전소, 지하 구조물 등에도 이의 이용 범위가 넓어져 가고 있다. 주요 지역별 사용현황은 다음과 같다.

(1) 북미지역

이 지역에서의 고강도 콘크리트는 주로 교량에 사용되어 왔으며 이는 주로 장스팬의 교량에서 이전 이점과 더불어 자중을 줄일 목적으로 사용되고 있다. 또한 크리프 변형의 감소

는 프리스트레스 상실을 줄여주기 때문에 P.S. 부재에 많이 응용되고 있다. 근래에는 내구성 증진 등의 효과 때문에 해양 구조물 등 특수 구조물에서의 응용이 넓어지고 있으며 자세한 것은 <표 5-3>에 나타나 있다.

캐나다의 경우, Quebec주의 Portneuf 교량은 1992년에 건설되었는데, 이 교량은 24.8m 경간의 프리캐스트 포스트텐션 교량으로서, 평균 압축강도는 75Mpa의 고강도 콘크리트를 사용하여 건설되었다. 또한, Quebec 주의 St. Eustache 교량은 17m 길이의 단경간 교량으로서, 설계강도 60Mpa의 고강도 콘크리트를 사용하였으며, 물-시멘트비는 0.26, 공기량은 4.5%이었다. 이 교량에서 사용된 고강도 콘크리트는 강도를 높이기 위해서가 아니라 내구성을 증진시키기 위해서 사용되었다. 또한, Mirabel에 위치한 50번 고속도로의 고가교량의 건설에도 설계강도 60Mpa, 공기량 6.2%의 고강도, 고성능 콘크리트가 사용되었는데, 고강도 콘크리트를 사용함으로써 5%의 공사비 절감효과와 사용수명 연장효과를 거둘 수 있었다.

미국에서의 고강도 콘크리트는 20년 이상의 역사를 가지고 있지만, 주로 고층건물에 활발하게 적용되어 왔었고, 토목구조물 특히 교량에 적용된 역사는 비교적 짧은 실정이다. Wa-

shington 주에서 설계 압축 강도 62Mpa의 프리스트레스 콘크리트 거더 교량이 건설된 사례가 있으며, 최근에는 고강도 콘크리트 교량에 대한 관심이 증가하는 추세이다.

Texas Austin에 있는 Brake Lane 교량은 표준 프리텐션 프리스트레스트 거더를 이용한 첫 번째 교량으로서, 사용된 콘크리트의 28일 평균 압축강도는 92Mpa이었고, 교량의 경간길이는 26m로 최대 경간길이가 20% 증가되는 결과를 가져왔다(1993).

(2) 유럽지역

노르웨이의 경우 고강도콘크리트를 가장 많이 활용하고 있으며 북해(North sea)에 콘크리트 해양 플랫폼이 세워짐으로서 내구성이 우수한 고강도콘크리트를 대상으로 1970년대 이후 연구개발이 활발하게 되었다. 1970년대

초반에는 28일 압축강도가 40~45Mpa인 콘크리트가 사용되었으며, 1980년대에는 45~60Mpa인 콘크리트가 사용되었다. 1989년 이래로 방빙제와 해양환경으로 인한 염해를 개선하기 위해서, 건설되는 모든 콘크리트 교량과 고속도로 구조물의 대다수가 실리카 흡을 혼입한 몰-시멘트비 0.4 이하의 고강도 콘크리트로 건설되고 있으며, 이러한 콘크리트의 연간 소비량은 150,000 ~ 200,000 m³에 이른다. [CEB-FIP 1994]

노르웨이에서는 이외에도 고속도로와 교량에 내마모성이 큰 60~70Mpa의 고강도콘크리트를 적극적으로 사용하고 있다. 1989년에 건설된 Sandhornoya 교량은 중앙경간이 154m 인 3 경간 캔틸레버 교량으로서, 설계 강도 56Mpa의 경량 고강도 콘크리트를 사용하였다. 1990년에 건설된 Ston-gsundet 교

[표 5.3] 고강도 콘크리트를 사용한 교량 (북미지역)

Bridge	Location	Year	Maximum Span (m)	Maximum design strength (kg/cm ²)
Willow Bridge	Toronto	1967	48	410
Houston Ship Canal	Texas	1981	299	410
San Diego to Coronado	California	1969	43	410
Linn Cove Viaduct	North Carolina	1979	55	410
Pasco-Kennewick	Washington	1978	299	410
Coweman River Bridge	Washington	-	45	480
Huntington to Protovilliee	W. Va. to Ohio	1984	274	550
Annacis	British Columbia	1986	465	550
Tower Road	Washington	-	49	620
Route 104 Bridge	New Hampshire	1996	20	550
Giles Road Bridge	Sarpy County	1996	68.7	830
Bridge over Falling River	Virginia	1996	97.6	550
Bridge over Clinch River	Virginia	1997	45.2	690
Int. 25 over Yale Avenue	Denver, Colorado	1998	64.5	690
State Route 18	King County	1998	90	689
Route 3A Bridge	New Hampshire	1999	18.3	550
Alabama Highway 199	Macon County	2000	243	690

(표 5.4) 고강도콘크리트를 사용한 건축구조물의 시공사례 (프랑스)

구 조 물	연 도 (년)	FCK* (kgf/cm ²)	실리카흙 적용여부
Channel Tunnel	1992	550	비 적용
Garabit	1993	600	비 적용
Elorn	1994	800	적 용
		600	적 용
Tour Societe Generale	1994	600	적 용
82 Normandie	1995	600	적 용
NKossa Barge	1995	700	적 용
Hibernia Platform	1996	600	적 용
Civaux	1996	630	적 용

* : 설계기준강도

량은 경간길이 65m인 프리캐스트 프리스트레스트 거더 교량으로서, 물-시멘트비가 0.35인 설계강도 75Mpa의 고강도 콘크리트가 사용되었다. 또한, 1993년에는 설계강도 74Mpa인 고강도 경량 콘크리트가 사용된 Stovset 교량이 건설되었다.

영국의 경우 1976년 시멘트협회와 시멘트 혼화제협회가 공동으로 작성한 유동화 콘크리트에 관한 보고서를 보면 주로 유동성 확보에 중점을 두고 프리캐스트 콘크리트분야에 사용되어 왔다. 특히, 세계 최대의 석유 플랫폼인 니니안 석유 플랫폼에는 22개의 P.C.단위체가 모두 우수한 내구성 및 시공성이 필요하였기 때문에 고강도콘크리트가 사용되었으며, 이때 물-시멘트비 30%, 슬럼프 값은 20cm, 그리고 멜라민계의 고성능감수제가 사용되었다.

독일의 경우 초기에는 유동성의 증진을 목적으로 개발되어 왔으나 근래에는 고강도콘크리트의 응용이 활발하게 증가되고 있다. 주요 적용분야는 원자력 발전소 등에 50Mpa 이상의 압축강도를 가진 고강도콘크리트를 사용하고 있으며, 고강도콘크리트의 90%이상이 유동화콘크리트로 제조되고 있다. 이를 위하여 1974년에 서독 철근콘크리트협회 위원회에서

유동화콘크리트의 제조와 시공에 관한 지침이 작성되었다. 독일에서 시공된 고강도 콘크리트 교량으로는 1978년 Cologne 근처의 Rhine 강에 건설된 Deutzer 교량이 있는데, 이 교량은 중앙 경간의 61m 구간은 경량콘크리트로, 교량의 나머지는 일반 무게의 콘크리트가 사용되었으며, 콘크리트의 설계강도는 55Mpa 이었다.

프랑스의 경우 1985년에 라데팡스 아치에 압축강도 60Mpa의 고강도콘크리트를 사용하였고, 향후 다음 세대를 위한 원자력발전소의 표준설계법에 고강도콘크리트의 사용을 포함시키고 있다. <표 5-4>는 프랑스에 있어서 고강도콘크리트가 적용된 토목 구조물의 시공 사례를 나타낸 것이다.

(3) 일본 및 아시아지역

<표 5-5>는 일본에 있어서 고강도콘크리트를 사용한 토목구조물의 사례를 나타낸 것으로서 1985년경에 설계기준강도 40Mpa 수준이 실용화되었고, 건설성종합기술개발프로젝트『철근콘크리트 건축물의 초경량·초고충화 기술의 개발(약칭 New RC프로젝트)』가 1988년부터 5개년 계획으로 추진되었으며,

이후 철근콘크리트조 건축물의 고층화와 더불어 콘크리트의 강도도 고강도화되어 1991년에는 설계기준강도 48Mpa의 고강도콘크리트가 적용되었다.

일본에서는 1973년에 Japan National Railway에 고강도 콘크리트가 처음 사용된 이후로 고강도 콘크리트 및 고성능 콘크리트 교량의 건설이 활발히 이루어지고 있다. Ayaragigawa 교량은 설계강도 60Mpa인 고강도 콘크리트를 사용하므로써 보의 무게를 170tons에서 150tons로 줄일 수 있었고, Iwahana 교량은 일본에서 80Mpa가 넘는 고강도 콘크리트를 사용하여 만든 첫 번째 교량으로서 프리캐스트 콘크리트 트러스 교량이다. 강재 트러스 교량이 보다 일반적이고 경제적이지만, 열차가 교량 위를 달릴 경우 발생하는 소음과 진동문제를 제거하기 위해 콘크리트 트러스 구조물이 사용되었다. 이외에도 철

도교량으로서 건설된 고강도 콘크리트 트러스 교량으로는 Otanabe 교량과 Akka-gawa 교량 등이 있으며, 이들 교량에 사용된 콘크리트의 설계강도는 모두 80Mpa이었다.

중국에서 고강도 콘크리트가 처음 사용된 것은 1970년대 후반, 해국 함정 격납고에 압축강도 70~75Mpa의 콘크리트가 사용되면서부터이다. 또한 같은 시기에 Red Water River를 가로지르는 현수교 형식의 철도교가 설계강도 60Mpa의 콘크리트로 건설되었다. 이때부터 고강도 콘크리트의 사용이 급격히 증가하였다. 적어도 20여개의 고층건물과 13개의 교량이 압축강도 50~80Mpa의 콘크리트로 건설되었다. 1987년부터 1991년까지 5년동안 고강도 콘크리트에 대한 연구개발 프로젝트가 National Natural Science Foundation of China (NNSFC)와 State Ministry of Construction의 지원하에 여러 대학과 건설회사 등에 의해서 수행되었고, 이를 바탕으로 1993년에는 고강도 콘크리트 구조물 설계지침 (Design Guide for HSC Structures)이 마련되었다.

1994년부터 NNSFC, State Ministry of Railway, State Ministry of Construction과 State Bureau of Building Materials 등의 공동지원 하에 50~100Mpa의 고강도 콘크리트에 대한 연구와 고강도 콘크리트를 사용한 콘크리트의 장기거동에 대한 연구가 수행 중에 있다. 또한, 1997년에는 양자강을 가로지르는 Wanxian 교량에 고강도 콘크리트가 사용되었는데, 이 교량은 중앙경간이 420m인 아치교량으로서 설계강도 50 Mpa의 콘크리트가 사용되었다.

5.3 교량분야의 고강도 콘크리트

앞 절에서는 고강도 콘크리트의 사용사례를

(표 5.5) 고강도콘크리트를 사용한 토목구조물의 사용사례 (일본)

명 칭	타설방법	연도 (년)	FCK* (kgf/cm ²)
茂市川橋	프리캐스트	-	800
大田名部橋	프리캐스트	1973	800
大田名部橋	현장타설	1973	600
岩鼻PCトラス橋	프리캐스트	-	800
岩鼻PCトラス橋	현장타설	-	600
安家川PCトラス橋	프리캐스트	1975	800
安家川PCトラス橋	현장타설	1975	600
第2綾羅木川橋	현장타설	-	600
神島大橋	-	1970	600
岐關大橋	-	1979	600
高畑橋	현장타설	1978	550
青山橋	-	-	550
多田川橋	-	-	500
荒川東高架橋	프리캐스트	1968	400

* : 설계기준강도(최대치)

살펴보았으며, 특히 각 나라별로 고강도 콘크리트를 사용한 교량의 사례를 다수 보고하였다. 교량은 우리가 가장 쉽게 접할 수 있는 토목구조물의 하나로서, 토목공학적으로도 매우 중요한 구조물이고 현재에도 많은 연구와 설계·시공이 이루어지고 있다. 이러한 교량은 크게 교각 등의 하부구조와 바닥판, 거더 등의 상부구조로 나눌 수 있고, 형식별로는 RC 거도교 등의 일반 교량과 사장교, 현수교 등의 장대교량으로 나눌 수 있다. 본 절에서는 최근들어 국외에서 고강도 콘크리트의 적용사례가 늘고 있는 프리스트레스트 교량과 콘크리트 바닥판, 그리고 장대교량 분야에 대해서 고강도 콘크리트 적용의 필요성과 국내외 사례 그리고 앞으로의 활용방안 등에 대해 살펴보고자 한다.

(1) 프리스트레스트 교량의 고강도 콘크리트

프리스트레스트 콘크리트 거더는 콘크리트에 미리 압축력을 도입하므로써 단면의 극한 휨성능을 높이고자 하는 부재이다. 따라서, 프리스트레스트 콘크리트 거더는 일반 RC 거더에 비해서 콘크리트에 큰 압축력이 작용하기 때문에 고강도 콘크리트를 적용해야 할 필요가 있다. 또한, 프리스트레싱 힘을 릴리스하는데 필요한 시간내에 높은 강도를 발휘할 수 있는 콘크리트의 사용이 절실하다. 또, 프리스트레스트 거더에 고강도 콘크리트를 사용하므로써 프리스트레스의 손실을 줄일 수 있으며, 결과적으로 상대적으로 작은 단면으로 보다 큰 휨성능을 발휘할 수 있다.

이 같은 이유로 인해서 일본과 유럽, 미국 등의 외국에서는 고강도 콘크리트를 사용한 프리스트레스트 콘크리트 거더의 건설이 활발히 이루어지고 있다. 일본의 경우, Ayaragi-gawa 교량은 60도의 경사를 가진 포스트텐션 프리스트레스트 콘크리트 교량으로서 설계강

도 60Mpa인 고강도 콘크리트를 사용하므로써 보의 무게를 170tons에서 150tons로 줄일 수 있었다. 또한, 1993년에 건설된 CNT Super bridge는 보행자 교량으로서, 40m 단경간 포스트텐션 프리스트레스트 박스거더 교량으로 건설되었는데, 보의 높이를 줄이기 위하여 100Mpa이 넘는 초고강도 고유동 콘크리트를 사용하였다.

1990년에 노르웨이에서 건설된 Stongsundet 교량은 경간길이 65m인 프리캐스트 프리스트레스트 거더 교량으로서, 물-시멘트비가 0.35인 설계강도 75Mpa의 고강도 콘크리트가 사용되었다.

북미에서도 고강도 콘크리트를 사용한 프리스트레스트 콘크리트 교량의 건설이 활발히 이루어지고 있는데, 캐나다의 Quebec주에 있는 Portneuf 교량은 24.8m 경간의 프리캐스트 포스트텐션 교량으로서, 평균 압축강도는 75Mpa의 고강도 콘크리트를 사용하여 건설되었다(1992). 또한, 미국의 Texas Austin에 있는 Brake Lane 교량은 표준 프리텐션 프리스트레스트 콘크리트 거더를 이용한 첫 번째 교량으로서, 사용된 콘크리트의 28일 평균 압축강도는 92Mpa이었고, 교량의 경간길이는 26m로 최대 경간길이가 20% 증가되는 결과를 가져왔다(1993).

이처럼, 고강도 콘크리트를 프리스트레스트 콘크리트 교량에 적용할 경우, 교량의 휨성능을 높일 수 있고 결과적으로 거더개수의 감소, 경간길이의 증가에 따른 하부구조 공사비용의 절감 등 막대한 경제적 효과를 얻을 수 있다. 따라서, 고강도 콘크리트는 프리스트레스트 콘크리트 교량에 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 사료되며, 국내에서도 최근들어 고강도 콘크리트의 적용이 활발해지고 있다.

(2) 교량 바닥판의 고강도 콘크리트

교량의 콘크리트 바닥판은 교량의 가장 중요한 하중인 차량하중을 직접 지지하며 다른 부재보다 가혹한 사용환경하에 있는 부재로서, 차량의 대형화와 통행량의 증가, 이로 인한 피로현상, 그리고 제설제의 살포 등으로 인한 부식 등 재료적 열화 등이 원인이 되어 바닥판에 균열이 발생하거나, 차량의 바퀴하중에 의해서 펀칭파괴(Punching Failure)가 발생하는 등의 손상이 빈번히 발생하고 있다. 이러한 손상과 노화 문제 발생으로 잦은 보수보강 및 교체 등이 시행되고 있는 실정이고, 이때 보수보강 및 교체에 직접 소요되는 비용뿐 아니라 교통통제에 의한 통행제한과 체증으로 인하여 추가로 발생하는 사회경제적 비용손실 또한 막대한 것으로 나타나고 있다.

이러한 이유에서 해외에서는 교량의 바닥판에 고강도 콘크리트를 적용하는 사례가 많다. 특히, 콘크리트 바닥판은 차량에 의한 하중 이외에도 제설제 등의 화학약품에 의한 염해, 동결융해 환경적인 요인에 의해 열화되는 경우가 많으므로 고강도 이외에도 고내구성을 확보할 수 있는 고성능 콘크리트의 적용이 활발하게 이루어지고 있다.

미연방도로국(Federal Highway Administration, FHWA)에서는 교량수명 연장 및 개선의 노력으로 1993년 교량에 고성능 콘크리트 적용하는 프로젝트를 시작하였고, 버지니아, 텍사스 등 미국의 각 주에서도 고강도 고성능 콘크리트 바닥판을 적용한 교량에 대한 연구와 건설을 수행하였다.

1995~97년에 걸쳐 버지니아 도로국(VDOT)은 7개의 고성능 콘크리트 교량구조물을 건설하였는데, 그중 Rte. 40 교량은 평균 압축강도는 60Mpa의 고강도 고성능 콘크리트 바닥판을 적용하였고, 물-결합재비 0.40, 슬래그 50%를 사용하였다. 또한, Telegraph Road 교량 바닥판의 평균 압축강

도는 46Mpa이었다.

뉴 햄프셔주의 Bistol시의 Newfound River를 통과하는 State Route 104번 도로상의 교량도 고강도 고성능 콘크리트 바닥판을 적용한 경우로서, 이 교량은 경간 20m 단 순교이며 교폭은 17.5m이고 보도와 3차선으로 되어있다. 5개의 precast/prestressed AASHTO Type III 거더와 합성된 콘크리트 바닥판은 현장타설로 시공되었고, 바닥판에 사용된 콘크리트의 재령 28일 평균 압축강도는 50Mpa이었다.

텍사스주에서는 미 연방도로국(FHWA)와 주도로국(TxDOT)의 지원으로 텍사스 오스틴대학 교통연구센터와 협동으로 2개의 고성능 콘크리트 교량을 건설하였다. Houston의 서쪽 249번 고속도로상에 있는 Louetta 교량은 상·하행선이 분리된 2개의 3경간 연속교로 구성되어있고, 콘크리트 바닥판의 28일 평균 압축강도는 55Mpa이었다. San Angelo시의 Concho 강, 87번 도로 및 철로를 횡단하는 67번 교량은 상·하행선이 분리된 다경간의 인접한 2개 교량으로 구성되어 있으며, 고강도 고성능 콘크리트는 하행선 교량의 8개 지간 바닥판, 상행선 교량의 5개 지간 바닥판에 시공되었다. 바닥판에 사용된 콘크리트의 28일 평균 압축강도는 41Mpa이었다.

Nebraska 주에서는 Sarpy시, Nebraska 대학의 연구소(CIR), 미연방도로국(FHWA) 및 주도로국(NDOR) 등이 협동으로 고강도 고성능 콘크리트를 이용한 교량 바닥판의 설계 및 시공에 대한 연구는 이루어지고 있으며, 바닥판 콘크리트의 강도는 일반적으로 쓰이고 있는 28Mpa대신에 55Mpa으로 적용하고 있다.

국내에서도 최근 수많은 교량의 손상된 바닥판에 대한 보수보강 및 교체가 이루어져 왔으며 그 예로써 청계고가교, 노량진수원지 앞

고가교, 서소문고가 등의 보수공사가 수행되었고, 한강상 잠실대교, 한남대교, 마포대교, 양화대교, 동호대교 등에 대한 성능보강공사가 수행되었거나 수행중에 있다. 한편 국도상 교량에 대해 1996년에 조사된 보수필요도 자료를 분석한 결과 약 2,000건의 보수필요대상 중에서 33%가 바닥판, 21%가 하부구조, 11%가 주형으로 나타났으며, 이를 손상원인 별로 보면 전체의 50%이상이 콘크리트의 균열이고, 바닥판에 발생한 경우가 균열손상의 53%를 차지하고 있는 것으로 보고되고 있다. 또한 1988년 건설부에 의해 수행된 노후교량 조사 및 보수공법개발을 위하여, 국도상 교량 중 표본교량으로 선정된 145개 교량에 대한 바닥판 손상을 조사한 결과 균열, 백태 및 누수가 각각 대상교량의 75%, 73% 및 77%를 차지하는 것으로 조사되었다.

이처럼 최근 들어 국내 교량에서 바닥판의 노후 및 손상이 빈번히 보고되고 있고 보수보강 및 교체도 자주 이루어져서 교량 바닥판에 대한 설계엔지니어, 현장실무자 등의 관심이 크게 증대되어 온 반면, 고강도 고성능 콘크리트를 교량의 바닥판에 적용하려는 노력은 상대적으로 미흡했던 것이 사실이다. 국내에서도 고강도 콘크리트 교량 바닥판에 대한 연구가 수행된 예가 있으나 아직까지 실무에 직접적으로 적용할 있는 시방서 수준의 규정은 미비한 실정이고, 현존하는 대부분의 교량의 바닥판은 보통강도 콘크리트로 건설된 실정이다.

교량의 콘크리트 바닥판은 차량하중과 염해, 동결융해 등에 의해서 가장 심하게 열화되는 부재로서, 교량의 여러 부분들 중에서 가장 빈번하게 손상을 입고 보수되는 부재이다. 따라서, 이러한 부재에 고강도 고성능 콘크리트를 적용한다면, 교량 바닥판의 사용수명을 연장하고 보수에 따르는 비용을 절감함으로써 경제적인 효과를 얻을 수 있다. 현재 미국을 비

롯한 국외에서는 고강도 콘크리트를 사용한 교량 바닥판이 활발히 적용되고 있으나, 아직까지 우리나라에서는 고강도 고성능 콘크리트를 교량의 바닥판에 적용한 사례는 거의 없다. 따라서, 고강도 콘크리트를 교량의 바닥판에 활용함으로써 유지·보수비용의 절감에 따른 막대한 경제적 효과를 얻을 수 있을 것이다.

(3) 장대교량의 고강도 콘크리트

콘크리트 장대교량은 프리스트레스트 박스 거더 교량을 비롯해서 사장교, 현수교 등의 교량을 들 수 있다. 이들 장대교량은 일반 교량에 비해서 경간길이가 상대적으로 길기 때문에 단면이 견뎌야 하는 휨모멘트도 상대적으로 커야한다. 따라서 콘크리트를 사용한 장대교량에서 고강도 콘크리트의 적용은 필수적이라고 할 수 있다.

프랑스에서 1988년에 Loire river에 건설된 Pertuiset 교량은 사장교로서, 건설비용을 절감하기 위하여 설계강도 60Mpa인 고유동 고강도 콘크리트를 주탑과 바닥판에 사용하였다.

1994년에 완공된 Elorn 교량은 400m 경간의 사장교로서, 97Mpa고강도 콘크리트가 사용되었고, 1995년에 건설된 850m 사장교인 Nomandie 교량에는 실리카 흡이 혼입된 설계강도 60Mpa의 고강도 콘크리트가 사용되었다. [CEP-FIP 1994]

국내에서도 최근들어 서해대교 등의 장대교량에 고강도 콘크리트가 적용되었고, 앞으로도 고강도 콘크리트를 사용한 장대교량의 건설이 증대될 전망이다. 또한, 앞으로 안전성과 함께 경제성이 제고된 PSC 교량을 건설하기 위해서는 콘크리트의 고강도화가 필수적인 사항이 되며 따라서 현재의 설계강도 40Mpa의 수준을 50~80Mpa의 경제적인 고강도 수준으로 높여, 안전성과 함께 경제성을 높일 필요

성이 절실히 대두되고 있다.

5.4 해양 구조물의 고강도 콘크리트

콘크리트를 사용하여 건설되는 해양, 해안 구조물에는 해안가에 건설되는 교량 등의 모든 토목구조물, 항만, 해저 유전개발에 사용되는 플랫폼 등을 들 수 있다. 본 절에서는 이들 중 해안가가 아닌 바다의 한가운데 건설되는 유전개발용 플랫폼에 고강도 콘크리트가 사용되는 사례와 활용방안에 대하여 살펴보고자 한다.

해저 석유개발은 1879년 캘리포니아의 Summerland 해안에 최초의 목재 데릭이 설치됨으로써 시작되었다. 제2차 세계대전을 거치면서 고도의 기술발전과 세계경제의 급속한 성장을 바탕으로 1946년 최초의 Steel Pile 을 이용한 철구조물이 출현하게 되었다. 이후 1950년대 중반부터 고도의 해양 개발 기술 발달과 함께 Mexico만과 California 연안에 수백개의 철제 구조물이 출현하게 되어 본격적인 해저유전 개발이 시작되었다. 이후에도 계속적인 철제구조물이 제작·설치되고 있으나 유전개발 대상지역이 점차 심해지역이나 극심한 환경하에까지 그 영역이 확대됨에 따라 이와 같은 불리한 환경에 저항할 수 있고, 해수의 침식에 비교적 저항성이 크고 설치가 용이한 콘크리트 해양 구조물이 개발되었다.

이와 같은 콘크리트 구조물이 개발된 직접적인 동기는 북해의 유전 개발시부터 야기된 높은 파고에서의 원유 수송의 어려움을 해결하기 위한 일시적인 원유 보관문제와 북해지역 해양의 지질조건이 과압밀 및 점토층으로 이루어져 기존의 Pile 항타시 어려움이 많았고 또한 구조물의 수명 및 유지관리 측면에서도 새로운 재료에 의한 구조물이 필요하게 되었기 때문이다.

최근들어 고강도 고성능 콘크리트가 개발되고 해양 유전개발이 극지방이나 북해 등 가혹한 환경으로 확대되면서 고강도 고성능 콘크리트를 사용한 해양 유전구조물의 건설이 증가하고 있다. 북해의 극심한 자연환경하에서 유전개발이 시도되면서 중력식 콘크리트 해양 구조물이 적용되게 되었는데, 1969년에 제작된 원유저장탱크인 Ekofisk I을 효시로 하여, 1975년에는 심해 원유채굴과 저유기능을 가진 최초의 Condeep Type인 Beryl A와 Brent B 플랫폼이 북해의 영국해역인 Beryl A와 Brent B 유전지역에 설치되어 운영중에 있다. 그 밖에도 현재 약 20기 정도의 저유기능을 가진 콘크리트 해양구조물이 세계 각지에서 운영 중이거나 설치 중에 있다.

Beryl A 플랫폼은 탑형 구조물로서 플랫폼의 하부에는 원유저장과 Ballast 기능을 가진 원통형 셀 케이슨에 고강도 콘크리트를 적용하였고, 케이슨 위의 Tower에도 고강도 콘크리트가 사용되었다. 구조물의 부분별 평균 압축강도는 <표 5-6>과 같다.

이밖에도 극지방에 건설되는 콘크리트 해양 구조물은 일반적인 해양구조물보다 물-시멘트비가 낮은 고강도 콘크리트로 건설되는데, 최근에는 고성능감수제 등의 개발로 인하여 물-시멘트비 0.32 정도의 고강도 콘크리트가 사

[표 5.6] Beryl A 플랫폼에 사용된 고강도콘크리트의 압축강도

압축강도 측정 위치	정육면체 공시체의 압축강도, kg/cm ²		
	3일	7일	28일
Lower Domes	410	470	560
Cell Walls	420	470	550
Upper Domes	410	490	570
Shaft, Submerged Zone	410	480	560
Shaft, Splash Zone	380	440	530

용되고 있다. 현재에는 일반적으로 40Mpa 정도의 고강도 콘크리트가 사용되고 있으며, 그 이상의 강도를 가지는 콘크리트도 고려되고 있다.

해양구조물에는 경량골재를 사용한 콘크리트가 사용되는데, Super CIDS와 Tarsiut caissons 등의 구조물에는 설계강도 48Mpa의 경량골재 콘크리트가 사용되었다.

이와 같이 해외 여러 나라에서는 고강도 콘크리트를 사용한 해양구조물의 개발이 활발히 이루어지고 있으나, 아직 우리나라에서는 상대적으로 개발과 건설이 미미한 실정이다. 현재 우리나라 연안에서도 여러 곳의 천연가스를 채굴 중에 있으며, 인도네시아 등 동남아시아의 여러 나라에서 유전개발에 참여하고 있으므로, 앞으로 해양유전개발 등 해양 콘크리트의 구조물에 고강도 콘크리트를 적극적으로 활용해야 할 것으로 판단된다.

5.5 원자력 발전소분야의 고강도 콘크리트

원자력발전소 건물은 일반적으로 두께 약 3.8m의 철판으로 밀폐되어있는 원자로건물, 1, 2차 차폐벽 그리고 외곽 격납구조물로 이루어진다. 원자력발전소는 중요한 국가기간시설로서 지진 등의 자연재해나 사고 등에 의해서 방사능이 유출될 위험이 있으므로, 만약의 사태에도 격납건물이 손상되어 방사능이 유출되는 일이 없어야 한다. 따라서, 격납구조물은 일반적으로 두께 약 1.2m 벽체와 반구형의 돔형태로서 설계강도 약 42Mpa의 고강도 콘크리트를 사용하여 건설된다. 또한, 구조물의 안정성과 경제성을 높일 수 있는 포스트텐션 공법으로 압축응력을 준 프리스트레스트 콘크리트가 일반적인 형태이다. 특히, 원자력발전소의 콘크리트는 균열방지와 내구성 증대 및 염해로부터 보호를 위하여 Type V 시멘트를 사

용하며 방사능 유출위험이 높은 경우에는 철광석을 이용하여 단위중량을 증가시킨 중량콘크리트를 사용하는 등 일반 토목공사와는 몇 가지 특색이 있다.

원자력발전소는 대규모 설비로서 까다로운 설계조건과 시공과정을 거치는 대규모 구조물로서 구조개선과 경제성제고를 위하여 고강도 콘크리트의 사용이 필수적인 분야라고 사료된다. 이에 따라 일반적인 고강도 콘크리트의 강도 및 제반 역학적 성질을 개선하기 위하여 탄소섬유, 고성능 감수제, 중합체(Polymer) 등을 이용한 특수 고강도 콘크리트에 대한 연구가 국내외에서 활발하게 진행되고 있다. 그러나, 아직까지 연구의 수준을 벗어나지 못하고 있으므로 실제 적용하기 위하여는 경제성 및 균질한 품질보증이 확보될 수 있도록 시공상의 문제점 개선에 크게 비중을 두어야 할 것으로 판단된다.

미국에서는 1994년 현재 109개의 원자력발전소가 가동 중에 있는데, 이들 중 2/3에 달하는 72개의 원자력 발전소가 콘크리트로 건설되고 있다. 미국에서 가동 중인 원자력 발전소 중 40개는 프리스트레스트 콘크리트, 32개는 철근 콘크리트로 건설되고 있으며, 37개만이 철골구조로 건설되고 있다.

우리나라에서도 1978년 고리 원자력 발전소 1호기가 운전을 시작한 이후로 현재 16기의 원자력 발전소가 건설되어 가동 중에 있고, 4기의 발전소는 건설 중에 있으며, 10여기의 원자력 발전소가 계획되어 있다. 따라서, 우리나라에서도 고강도 콘크리트를 이용한 원자력 발전소 건설의 중요성이 증대되어 가고 있다.

원자력 발전소의 대부분이 콘크리트로 이루어져 있고 국가의 기본에너지인 전력의 많은 부분을 공급하는 중요한 구조물임을 감안할 때 원자력 발전소의 건설 및 운용에서 콘크리트가 차지하는 비중은 대단히 크다고 할 수 있

다. 특히 발전소의 대형화와 다양화에 따라 구조물의 안전성과 경제성 확보의 중요성은 날로 증대되고 있다. 이러한 상황에서 원자력 발전소의 중요한 재료인 콘크리트 분야의 중장기 연구개발 계획 또한 이러한 욕구를 충족시킬 수 있어야 하며, 이의 일환으로 고강도 고성능 콘크리트에 대한 활발한 연구와 함께 고강도 콘크리트를 사용한 원자력 발전소 격납건물의 건설도 활발히 이루어져야 한다.

6. 결론

최근 들어 시대적 발전과 사회의 요구에 따라 구조물이 고층화되고 장대화됨에 따라 고강도 콘크리트에 대한 연구가 활발히 진행되고 기술이 발전하고 있으며, 이에 따라 고강도 콘크리트의 개념도 급속히 변화되고 있다. 선진외국에서는 지난 20 여년간의 연구성공으로 인하여 60~80Mpa 이상의 압축강도를 가진 고강도 콘크리트를 개발하여 장대교량 및 특수구조물 등의 토목분야에 사용하고 있는 실정이다.

그러나, 우리나라에서는 아직까지 고강도 콘크리트의 수준이 선진외국은 물론이고 일부 동남아시아 국가의 수준에도 미치지 못하고 있는 실정이어서 고강도 콘크리트에 대한 관심과 꾸준한 연구가 절실히 요구되고 있다. 또한, 전환기에 처한 우리의 국내 건설업 여건과 기술능력을 감안할 때, 경제적이고 내구적이며, 우수한 특성을 가지고 있는 콘크리트의 고강도화 및 고품질화는 반드시 연구해야 할 분야이며, 고강도 콘크리트의 사용은 강재의 사용보다 경제적 우월성이 훨씬 높아 건설비의 절감을 가져올 수 있다.

또한, 고강도 콘크리트를 교량구조물에 적용함으로써 교량구조물의 장경간화와 거더간격의 증대로 인한 거더 개수의 감소효과가 가

능하며, 결과적으로 건설비를 절감할 수 있다. 이와 더불어 고강도화로 인한 콘크리트의 균열발생에 대한 저항성, 내투수성의 증진효과 그리고 건조수축, 크리프 같은 체적변화의 감소효과를 기대할 수 있다. 또한 내구성이 향상된 고성능 콘크리트를 적용함으로써 구조물의 유지관리 및 보수비용의 절감 등 장·단기적인 의미에서 경제적 이득을 생각할 수 있는 많은 기대효과가 존재한다.

1992년까지는 건설부제정 건축공사 표준시방서(1986)에서 고강도 콘크리트의 범위를 27~36Mpa범위로 한정하고 있었으나, 1993년에 들어와서 극한강도 설계기준에 준하여 콘크리트의 설계강도를 42Mpa까지 허용함으로써 국내의 고강도 콘크리트의 발전에 큰 전환점이 되고 있다.

이러한 고강도 콘크리트에 대한 시대적인 요구와 함께 건설 및 토목분야에서 조성되고 있는 고강도 콘크리트에 대한 요구를 감안하면 우리나라에서도 고강도 콘크리트의 현장적용이 하루빨리 이루어져야 할 것이며, 이를 위해서 산·학·연의 꾸준한 연구가 필수적이고 이와 함께 설계사, 시공사 뿐만 아니라 발주처에서도 고강도 콘크리트의 연구에 대한 많은 관심과 함께 실용화에 대한 적극적인 지원체계가 확립되어야 한다고 판단된다.

참고문헌

1. Jaime Moreno, "High-Performance Concrete : Economic Considerations", Concrete International, Vol. 20, No.3, 1998. 3, pp. 68-70
2. Mary Lou Ralls, "Texas High Performance Concrete Bridges : How Much Do They Cost .", Concrete

- International, Vol.20, No.3, 1998. 3, pp. 71-74
3. ACI Committee 363, State-of-the-Art Report on High Strength Concrete, American Concrete Institute, ACI 363R-92, 1992.
 4. 김은겸, "고강도 콘크리트의 현장적용 방안", 레미콘, 한국레미콘공업협회, 제 63호, 2000. 4, pp. 21-37.
 5. 이종열, 정연식, 하재담, "고성능 AE감수제의 작용기구와 콘크리트 적용현황(II)", 레미콘, 한국레미콘공업협회, 제 68호, 2001. 7., pp. 26-40.
 6. 박철림, "고강도 콘크리트의 실용화에 관한 국내의 연구동향", 한국콘크리트학회지, 제 2권, 3호, 1990. 9, pp. 27-36.
 7. 오병환, 정범석, "고강도 콘크리트의 시공특성과 이용", 한국콘크리트학회지, 제 2권, 4호, 1990. 12., pp. 31-35.
 8. 신성우, "고강도 콘크리트", 한국콘크리트학회지, 제 2권, 1호, 1991. 3, pp. 18-23.
 9. 김태훈, "올림픽대교(사장교)에 사용한 고강도 콘크리트의 시공관리", 한국콘크리트학회지, 제 4권, 1호, 1992. 3., pp. 48-57.
 10. 소양섭, "고강도 콘크리트의 배합설계와 품질 관리 방안", 레미콘, 한국레미콘공업협회, 제 78호, 2000. 9., pp. 26-45.
 11. 김무한, 송하영, "유동화 콘크리트의 특성", 한국콘크리트 학회지, 제13권, 2001, 5.
 12. 동아건설 기술연구소, 서울대학교 공학연구소, "고강도 콘크리트 실용화를 위한 현장 적용 기초 연구", 1995.1, pp. 73-118
 13. 오병환, "고강도 콘크리트 및 섬유 콘크리트의 특성과 활용", 대한토목학회지, 제39권, 제4호, 1991.
 14. 김무한, "레미콘의 성능규정과 품질보증에 관한 고찰(Ⅲ)", 레미콘, 제 62 호, 2000. 1.
 15. 김윤중, "레미콘 생산업체의 경영합리화 방안에 대한 연구", 연합회보, 통권 90 호, 한국레미콘협동조합연합회, 2001. 9.
 16. 이계학, 김학수, "고강도 콘크리트 레미콘 제조 및 실용화 개발", 산업기술연구논문집, 제 4호, 1997. 6, pp. 33-52
 17. 이규정, 정원기, 이형준, 임태선, "고강도 PC BEAM 교량의 실용화", 콘크리트학회지, 제 10권, 제4호, 1998. 8, pp. 46-52
 18. 한천구, "국내 콘크리트의 품질개선을 위한 각 방면에서의 제안 : 레미콘의 제조", 콘크리트학회지, 제9권, 제2호, 1997. 4, pp. 23-29