

한국콘크리트학회

「콘크리트 압축강도 콘테스트」결과 보고

박 연 등*

1. 머리말

콘크리트 강도의 한계는 과연 얼마인가? 콘크리트 분야에 종사하는 사람이라면 누구나 한번쯤 이러한 의문을 가졌을 것이다. 일반 골재를 사용한 실용적인 콘크리트의 압축강도 한계는 $1,300 \text{ kg/cm}^2$ 정도로 알려져 있다. 그러나, 이것은 단지 일반적인 사실일 뿐 더 높은 강도의 골재를 사용하거나 또는 지금까지 알려지지 않은 새로운 기술을 개발함으로써 콘크리트 강도는 더욱 높아질 수 있을 것이다.

콘크리트가 구조재료로 사용되기 시작한 이래 콘크리트 관련 기술자 및 학자들은 고강도화를 위해 끊임없이 노력해 왔다. 특히, 1960년대 이후 고성능감수제의 개발, 실리카흙을 비롯한 고강도 콘크리트용 결합재의 사용 등에 따라 콘크리트의 실용화 강도 수준은 급속히 증가하였으며, 최근에는 압축강도 $1,000 \text{ kg/cm}^2$ 이상의 고강도 콘크리트가 레미콘으로 공급된 예도 있다. 국내의 경우, 1980년대부터 고강도 콘크리트에 관한 본격적인 연구가 시작되었는데, 최근에 들어 시멘트 및 건설관련 연구소와 대학 연구실을 중심으로 하여 실용화 및 특성 규명을 위한 연구가 활발히 수행되고 있으며, 고층 건물 및 특수 구조물에 전면적으로 사용되기 시작하고 있다.

이러한 배경 아래 한국콘크리트학회에서는 콘크리트 품질향상 및 고강도화에 대한 일반의 관심

을 높이고, 미래 한국 콘크리트 분야의 앞날을 짚어지고 나갈 젊은 공학도들에게 콘크리트 압축강도를 증진시킬 수 있는 참신한 아이디어를 발표할 수 있는 기회와 그들 상호간의 교류를 증진시켜 줄 목적으로 「콘크리트 압축강도 콘테스트」를 동양시멘트(주)와 쌍용양회공업(주)의 후원으로 개최하게 되었다.

2. 행사 진행 내용

본 콘테스트의 참가자격은 건설관련학과(토목, 건축, 요업, 무기재료 및 기타 관련학과)에 재학중인 전문대학, 대학(원)생으로 제한하였으며, 기업체 연구원 또는 임직원의 참여는 배제하였다. 기업체가 참여하게 되면 경쟁이 과열될 우려가 있고, 본 행사의 주목적인 축제와 교류의 장을 마련해 준다는 의도가 다소 퇴색될 우려가 있기 때문이었다.

공시체 제작에 있어서는 참가학생들의 자유로운 발상과 참신한 아이디어가 충분히 반영될 수 있도록 제약조건을 최소화 하였으며, 공정한 경연 및 심사를 위하여 다음과 같은 제작조건을 두었다.

- 1) 결합재는 수경성 무기재료를 사용하여야 한다.
- 2) 공시체는 전체가 균일한 구성이 되도록 하여야 한다.
- 3) 사용골재는 자연산 골재로 하며(쇄석, 쇄사가능), 최소 골재 사용량은 공시체 절대용적의 $1/3$ 이상으로 한다. 골재의 크기는

* 정희원, 동양중앙연구소 이차제품연구소 선임연구원, 공학박사

0.074mm 이상, 25mm 이하로 한다.

- 4) 부분적 보강이 없어야 하며, 입방체, 주상의 골재 등은 사용할 수 없다.
- 5) 섬유, 수지 등의 사용은 인정하지 않으나 콘크리트용 화학혼화제 및 무기질 혼합제는 사용할 수 있다.
- 6) 제작방법 및 양생방법은 자유롭게 선택할 수 있다.
- 7) 공시체는 직경 100mm, 길이 200mm의 원주 공시체로 하며 치수오차는 ± 2 mm 이내로 한다.
- 8) 공시체의 양단면은 그대로 가압시험에 사용할 수 있도록 캐핑 등을 행한다.
- 9) 반입 공시체 수는 5개로 한다.

참가신청 접수는 1994년 5월 28일까지 받았는데, 총 14개 대학 17개 학과 19개팀이 참가신청을 하였으며, 최종적으로 18개팀이 콘테스트에 참가하였다. 참가팀명은 참가학생들이 정하도록 하였는데, '터미네이터', 'LIMIT', '과학원 아이들', 'ULTRA', '콘크리트 하이틴', 'POWER' 등 재미있는 이름이 많았다. 공시체 및 제작내용 설명서 제출 마감일은 8월 18일이었으며, 반입된 모든 공시체는 시험시까지 동일한 조건(습윤상태)에서 보관하였다.

콘테스트는 8월 25, 26 양일간에 걸쳐 경기도 용인군에 소재한 동양중앙연구소에서 개최되었는데, 첫째날은 심사위원 입회하에 압축강도 실험을 주로 하였으며, 둘째날은 참가학생들과 지도교수, 관심있는 대학의 학생들 및 기업체 임직원 등 약 100여명이 참석한 가운데 압축강도 실험, 만남의 시간, 연구소 소개, 시상식, 리셉션 등이 성황리에 진행되었다.

심사위원은 고성능 콘크리트 분과위원회 회의에서 선임되었으며, 서울대 오병환 교수, 건설기술연구원 이장화 수석연구원, 주택공사 이도현 선임연구원, 쌍용양회 임창덕 부장, 동양중앙연구소 정재동 실장(현, 대구대 교수) 등 다섯 분이 수고해 주셨다.

실험에 사용된 기기는 동양중앙연구소 소재 300톤 용량의 압축강도 시험기이며, 압축강도 실험시 재하속도는 공시체 갯수 및 행사일정 등을 고려하

여 KS에 규정된 값보다 다소 빠른 5.5 kg/cm^2 / 초로 심사위원 회의에서 결정하였다. 각 팀의 압축강도 실험 순서는 심사위원 1인의 제비뽑기로 결정하였으며, 첫째날은 각 팀당 3개의 공시체를 실험하였고, 둘째날은 나머지 2개의 공시체를 실험하였다. 압축강도 값은 공시체 5개의 실험값 중 최대값과 최소값을 제외한 나머지 3개 공시체 압축강도의 평균값으로 결정하였다.

공시체 강도가 대단히 높았기 때문에 압축강도 실험시 큰 소리를 내며 급작스럽게 파괴되는 경우가 많아, 주위에서 지켜보던 사람들이 놀라기도 하였다. 특히, 상위 입상한 팀들의 공시체는 작용하중이 어느 수준 이상 올라가게 되면 '삐직삐직' 소리를 내면서 응력이 증가하여 주위사람들을 긴장시켰다. 사진 1은 압축강도 실험 진행상황(파괴 후 공시체 모양)을 나타내고 있다.

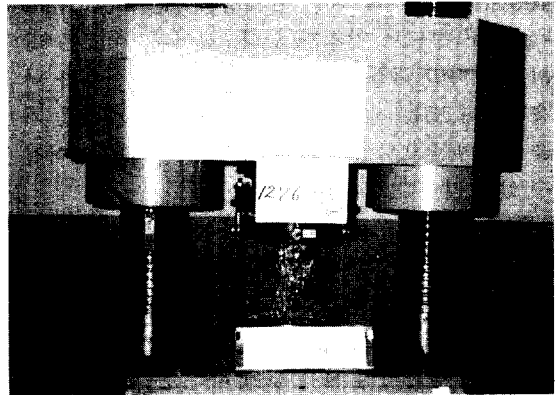


사진 1 압축강도 실험(파괴직후 공시체 모양)

3. 콘테스트 결과 및 시상

콘테스트에 참가한 대부분의 팀은 실리카흙의 사용과 더불어 결합재량을 크게 늘리고 고성능감수제의 사용으로 물-결합재비를 최대한 줄인 배합을 기본배합으로 선택하였다. 또한, 각 참가팀은 압축강도를 높이기 위하여 다양한 방법을 사용하였는데, 사용재료 측면에서는 초조강 시멘트 등 특수 시멘트의 사용, 고순도 실리카, 석고계 혼합재 등 특수 결합재의 사용, 규사, 금강사 등 특별한 골재의 사용, 공기량을 줄이기 위한 소포제의

사용 등을 들 수 있다. 공시체 성형방법으로는 몰탈 선비법, 가압성형 등을 들 수 있고, 양생방법으로는 고온고압양생 방법이 가장 많이 이용되었으며, 상압증기양생, 수중양생 등도 일부 팀에서 이용하였다.

콘테스트에 참가한 18개팀 중 충남대 건축공학과 '충남대 건축재료시공연구실'팀이 압축강도 1,758 kg/cm² 로 영예의 최우수상을 수상하였다. 또한, 한국과학기술원 토목공학과 '과학원 아이들' 및 청주대 건축공학과 '청주대 건축재료시공연구회'가 우수상을, 인하대 무기재료공학과 LIM-IT, 충남대 토목공학과 '콘크리트 연구실', 대전대 건축과 '건축구조재료 실험실'이 각각 가작을 수상하였다. 최우수팀 공시체 파괴후 모양은 사진 2와 같고, 각 입상팀의 압축강도는 표 1, 최우수 및 우수팀의 프로파일, 사용재료, 배합비, 제작방법 등은 표 2~4에 나타내었다. 행사에 참가한 18개

팀의 압축강도 실험 결과는 1,758 kg/cm² 1개팀, 1,200~1,400 kg/cm² 5개팀, 1,000~1,200 kg/cm² 5개팀, 800~1,000 kg/cm² 4개팀, 800 kg/cm² 이하 3개팀이었다.

본상을 수상한 팀들의 공시체 제작시 공통사항을 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 시멘트는 조강 또는 초조강 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 실리카흙을 다량 혼입하였다. 잔골재는 4팀이 천연사, 1팀이 규사, 1팀이 금강사를 사용하였으며, 굵은 골재는 쇠석을 사용하였다. 입상하지 못한 참가팀 중에서 강자갈을 굵은골재로 사용한 팀도 일부 있었으나 사용재료, 배합비 및 양생방법을 고려할 때 압축강도 추정값이 기대치에 미치지 못하여 강자갈은 초고강도 발현에 상당히 불리한 것으로 판

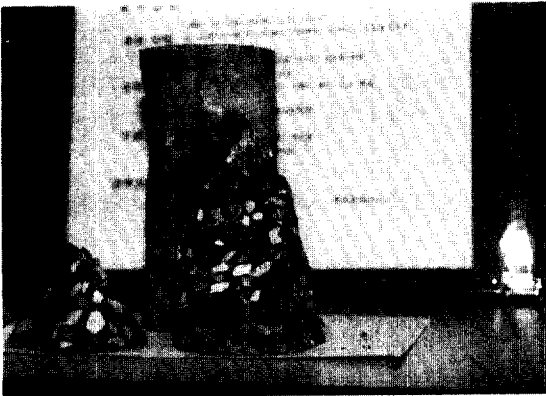


사진 2 최우수팀 공시체 파괴형태

표 1 입상팀 압축강도 실험 결과

성 명	팀 명	학교 및 학과	압축강도 (kg/cm ²)
최우수	충남대 건축재료시공연구실	충남대 건축과	1,758
우수	과학원 아이들	과기원 토목과	1,327
우수	청주대 건축재료시공연구회	청주대 건축과	1,325
가작	LIMIT	인하대 부채과	1,315
가작	콘크리트 연구실	충남대 토목과	1,228
가작	건축구조재료 실험실	대전대 건축과	1,228

표 2 최우수팀 사용재료, 배합비, 제작방법

팀 명	충남대 건축재료시공연구실
학교 및 학과	충남대학교 건축공학과
지도교수	김 무 한
참가학생	남상일(박3), 김진만(박3), 김규용(석1), 이권업(학4), 최희용(학4)

사용재료

시멘트	초조강 포틀랜드 시멘트(분말도 6,150 cm ² /g)
잔골재	울진산 제염사(최대크기 5mm, 비중 2.57)
굵은골재	대전산 쇠석(최대크기 13mm, 비중 2.59)
혼합재	실리카흙
혼화제	고성능감수제, 소포제(고성능감수제 중량의 0.5% 사용)

배 합 비

물-결합재비	실리카흙 치환율(%)	SP제 첨가율(%)	단 위 량(kg/3)				
			물	시멘트	실리카흙	잔골재	굵은골재
17	15	3.0	117	516	172	614	1010

제작방법

혼합방법	시멘트, 실리카흙, 잔골재를 먼저 투입하여 건비법을 행한 다음 물, 고성능감수제, 소포제를 투입하여 몰탈을 유동화시킨 후 굵은골재를 최종적으로 투입하여 혼합
성형방법	콘크리트를 2층으로 나누어 타설하고 각 층을 다짐봉으로 25회, 방 진동기로 30초간 진동을 가한 후, 진동대식 다짐기로 30초간 재진동다짐하여 제작하였으며, 성형 6시간후 상면을 시멘트풀로 캐핑
양생방법	공시체 성형 12시간후 탈형하여 180℃, 10기압에서 고온고압양생을 10시간동안 실시

표 3 우수팀(2위) 사용재료, 배합비, 제작방법

팀 명	과학원 아이들
학교 및 학과	한국과학기술원 토목공학과
지도교수	김진근
참가학생	박찬규(박4), 김윤용(박2), 김훈(석2), 이철성(석2), 한상훈(석1)

사용재료

시멘트	조강 포틀랜드 시멘트
잔골재	규사(조립율 2.80, 비중 2.66)
굵은골재	사용하지 않음
혼합재	실리카흙
혼화제	고성능감수제

배합비

물-결합재비	실리카흙 치환율(%)	SP재 첨가율(%)	단위량(kg/3)				
			물	시멘트	실리카흙	잔골재	굵은골재
21	42.5	6.0	117	505	373	1210	0

제작방법

혼합방법	배합재료를 투입하여 건비법한 다음 물과 고성능감수제를 투입하여 혼합
성형방법	2톤의 하중을 가하여 공시체를 가압 성형
양생방법	재령 24시간 : 탈형
	재령 24~48시간 : 고온고압양생
	재령 48~재령 15일 : 고온수중양생(75℃) 재령 15일~34일 : 상온수중양생(30℃)

단되었다. 물-결합재비는 21% 이하로 상당히 낮았으며, 내부 공극을 제거하고 조적을 치밀하게 만들기 위하여 소포제를 사용하거나 가압성형을 하였다. 양생은 대부분 고온고압양생으로 하였으며, 1팀이 상압증기양생방법을 택하였다.

앞에서도 언급한 바와 같이 본 콘테스트는 누가 더 높은 강도를 발현하는가 하는 경연의 의미보다는 함께 모여 어울리는 축제와 교류의 의미가 더 강조된 행사이므로 본상 이외에 다양한 특별상을 준비하였다. 특별상으로는 아깝게 7위에 머물러 본상에서 제외된 팀에게 주는 애석상, 공시체 5개의 변동계수가 가장 적은 팀에게 주는 정밀상, 최대크기가 10mm 이상인 골재를 사용한 팀중에서 가장 높은 강도를 발현한 팀에게 주는 실용상, 강도 발현이 가장 낮은 팀에게 격려와 분발을 당부하는 의미로 주는 격려상, 그리고 행사에 참가한 사람들 중에서 최고 압축강도를 가장 근접하여 맞춘 사람에게 주는 행운상을 준비하였다. 애석상은

표 4 우수팀(3위) 사용재료, 배합비, 제작방법

팀 명	청주대 건축재료시공연구회
학교 및 학과	청주대학교 건축공학과
지도교수	한천구
참가학생	윤기원(박1), 김기철(석2), 최정각(석1), 조병영(석1)

사용재료

시멘트	조강 포틀랜드 시멘트
잔골재	미호친산 강모래(비중 2.6, 조립율 3.52)
굵은골재	화강암 채석(비중 2.79, 조립율 6.65)
혼합재	실리카흙
혼화제	고성능감수제

배합비

물-결합재비	실리카흙 치환율(%)	SP재 첨가율(%)	단위량(kg/3)				
			물	시멘트	실리카흙	잔골재	굵은골재
20	13.0	3.0	200	870	130	361	823

제작방법

혼합방법	강제식 믹서에 재료를 잔골재, 굵은골재, 시멘트, 실리카흙, 굵은골재의 순으로 투입하고 약 30초간 건비법한 다음 1분간 믹서의 교반속도를 20rpm에서 60rpm으로 일정하게 가속한 뒤 6rpm의 속도로 1분간 혼합하고, 고성능감수제를 투입하여 추가로 1분 30초간 비빔
성형방법	성형 몰드의 1/2까지 콘크리트를 채워 진동대식 다짐기로 다짐과 동시에 다짐방으로 25회식 다진 다음 나머지 부분도 동일한 방법으로 다짐. 공시체 표면처리하는 공시체 제작후 12시간 경과한 다음 탈형하여 23±2℃의 수중에 넣어 24시간동안 양생한 뒤 공시체 연마기로 연마
양생방법	공시체 연마후 23±2℃의 온도로 6일간 수중양생 180℃, 10기압 상태에서 고온고압양생(살수 6시간, 승온 4시간, 유지 8시간, 강온 4시간) 23±2℃의 온도로 양생

한양대 토목과 '재료연구실'이 압축강도 1,190 kg/cm²로 수상하였으며, 정밀상은 한국과학기술원 토목공학과 학부과정 학생으로 구성된 '콘크리트 하이틴'이 변동계수 1.5%(평균압축강도 1,077 kg/cm²)로 수상하였다. 실용상은 충남대 건축과 '충남대 건축재료시공연구실'에서 수상하였다.

콘테스트에 참가한 18개팀 공시체에 대한 압축강도 실험이 끝난 후, 최근 국내에서도 크게 관심이 높아지고 있는 초유동 고성능 콘크리트에 대한 비디오가 상영되었다. 초유동 콘크리트는 경화전

에는 유동성과 재료분리저항성이 우수하여 다짐이 필요없고, 경화후에는 강도와 내구성이 뛰어나 차세대 건설재료로 큰 기대를 모으고 있다. 비디오 상영이 끝난 후 각 참가팀의 학생들이 나와 자신을 소개하고 콘테스트에 참가하게 된 동기와 배경 등을 설명하는 만남의 시간을 가졌다. 만남의 시간이 끝난 다음 행사개최 장소인 동양중앙연구소의 연구 장비, 실험 시설 등을 견학하는 시간을 가졌으며, 곧이어 강원대 연구석 교수팀이 특별출품한 폴리머 콘크리트 공시체에 대한 강도 실험이 이어졌다.

비디오 상영등의 행사가 끝난 후 시상식이 이어졌는데, 한국콘크리트학회 박병용 회장의 인사 말씀과 동양중앙연구소 이원규 소장님의 축사, 심사기준발표, 시상식, 폐회사, 기념촬영 순으로 시종 화기애애한 분위기속에서 진행되었다(사진 3, 4, 5, 6 참조). 본상에 입상한 팀들에게는 각각 상

장 및 상금(최우수 100만원, 우수 50만원, 가작 20만원), 상패(추후, 학회에서 수여)가 수여되었으며, 특별상을 수상한 팀들에게는 상장 및 상금(10만원)이 수여되었다. 시상이 끝난 후 참가자들은 리셉션상으로 자리를 옮겨 행사 전반에 대한 의견, 공시체 제작시의 에피소드 등에 대한 환담을 나누면서 즐거운 시간을 보냈다.

4. 맺음말

본 압축강도 콘테스트는 2년전부터 계획단계에 있었으나 여러가지 사정으로 인해 미루어지다가 이번엔 개최하게 되었다. 개최시기가 지연되어 일 본에 선수를 뺏기는 다소 아쉬운 감은 있었으나 학생들의 적극적인 참여와 많은 분들의 큰 관심속에서 성황리에 진행되었다.

당초 콘테스트 결과가 발표되기 이전에는 최우

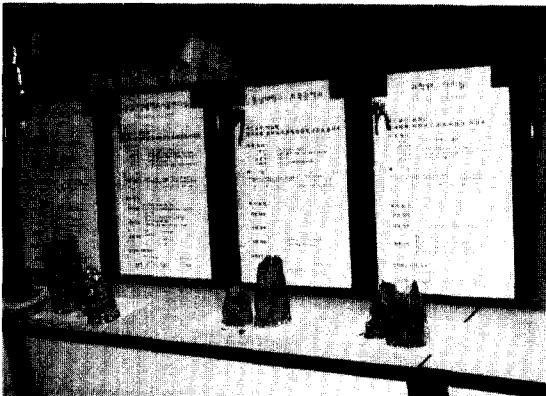


사진 3 행사장내의 설명자료



사진 4 시상식 전경

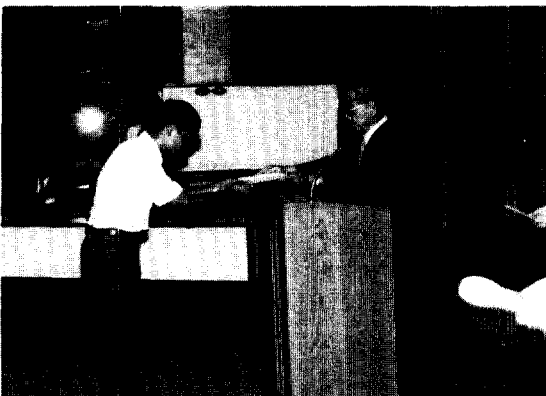


사진 5 최우수팀 상장 수여



사진 6 시상식 후 기념촬영

수상이 2,000 kg/cm² 전후에서 결정되리라고 많은 사람들이 예상하였으나 결과는 기대에 미치지 못하였다. 특히 최우수상을 수상한 한 팀을 제외한 모든 팀들이 압축강도 1,350 kg/cm² 에 미달되어 공시체 제작에 있어 다소 미흡한 점이 있었던 것으로 판단된다. 특히, 성형방법이나 양생방법에 있어서 그러한 점이 발견되었는데, 일부 팀을 제외하고는 공극을 줄이거나 조적을 치밀하게 만들기 위한 소포제의 사용, 가압성형 등의 방법을 이용하지 않았으며, 양생도 대부분의 팀에서 일률적으로 고온고압양생 방법을 적용하였다. 고온고압양생의 경우 초기강도 발현에는 대단히 유리하나 상당한 시일이 경과한 후의 장기강도 발현에는 오히려 불리한 면이 있어, 일반양생, 증기양생, 고온고압양생 방법을 적절하게 혼합하여 사용

하면 가장 높은 강도를 얻을 수 있을 것으로 사료된다. 이러한 몇가지 미흡한 점은 다음 회에서는 충분히 보완되리라 판단되며, 압축강도를 향상시킬 수 있는 참신하고 기발한 아이디어가 쏟아지기를 기대해 본다.

콘크리트를 전공하고 있는 젊은 학생들은 본 압축강도 콘테스트를 통하여 콘크리트 강도발현한계에 도전해 봄으로써 콘크리트에 대한 애착과 강도발현에 대한 이해를 높였을 것이다. 또한, 행사와 그 결과 발표를 통하여 콘크리트의 고강도화에 대한 관련 기술자들과 일반의 관심을 높임으로서 그들에게 고강도 콘크리트의 필요성을 인식시키고 콘크리트 강도에 대한 심리적 한계를 극복케 하여 고강도 콘크리트의 보급을 더욱 확산시킬 수 있는 좋은 계기가 될 것으로 생각된다.