

콘크리트 배합설계 방법에 대한 고찰

A Study on Concrete Mix Design Methods

은 충 기* 채 원 규** 이 명 구*** 조 광 현**** 김 광 일**** 손 영 현*****
Eun, Chung Ki Chai, Won Kyu Lee, Myung Ku Choi, Kwang Hyun Kim, Kwang Il Son, Young Hyun

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze representative methods of concrete mix design. As a results, it can be said that the properties of concrete are studied primarily for the purpose of selection of appropriate mix ingredients, and it is in this light that the various properties of concrete will be considered in appropriate mix design method.

1. 서론

세계 각국의 콘크리트에 대한 기술은 비약적으로 발전되고 있으며, 최근 경제적이면서 고유동, 고강도, 고내구성의 특성을 갖는 고성능콘크리트 개발에 박차를 가하고 있다. 이를 초고층빌딩이나 원자력구조물과 같은 특수구조물뿐만 아니라 일반구조물에까지의 적용이 확대되고 있는 실정이다.

미국의 경우 South Wacker Tower에 압축강도 83MPa인 초고강도콘크리트를 적용한 79층(높이 295m) 규모의 초고층빌딩에 대한 시공사례를 들 수 있고, 일본, 유럽 등의 선진국에서는 이와 유사한 시공사례를 흔히 찾아 볼 수 있다. 이밖에 말레이시아와 같은 일부 개발도상국들조차도 고성능콘크리트의 시공사례는 얼마든지 찾아 볼 수 가 있다. 반면 국내의 경우 해외공사에서는 우리의 기술력으로 고성능콘크리트를 일부 시공하고 있으나 국내현장에는 적용시킨 예가 드문 실정이다.

이러한 고성능콘크리트를 적용하기 위해서는 기본적으로 콘크리트에 대한 이해와 배합설계방법이 중요하다. 그러나 콘크리트의 배합설계에 대한 절차와 방법은 각 나라마다 상이한 점이 발견되며, 동일한 강도의 배합을 수행하여도 차이를 나타낸다.

이에 따라 본 연구에서는 국내(한국콘크리트학회, Korean Concrete Institute, 이하 KCI)의 콘크리트 배합설계방법을 고찰하여 보았고, 국외의 배합설계방법 중 전세계적으로 널리 통용되고 있는 미국(미국콘크리트학회, American Concrete Institute, 이하 ACI)와 영국(British Standard, 이하 BS)의 배합설계방법에 대하여 고찰하여 보았다. 이러한 외국의 대표적 콘크리트 배합설계방법과 비교·고찰하고 그 문제점을 분석함으로써, 향후 국내 콘크리트 배합설계방법의 개선을 위한 기초자료를 제시하고자 하는 것이 본 연구의 목적이다.

- * 정회원, 신구대학 토목과 교수
- ** 정회원, 신구대학 토목과 부교수
- *** 정회원, 서울보건대학 안전시스템공학부 조교수
- **** 정회원, 한양대학교 토목공학과 박사과정
- ***** 정회원, 현대건설(주) 기술연구소 선임연구원

2. 본론

2.1 콘크리트 배합설계를 위한 고려사항

콘크리트에 대한 합리적인 배합설계를 위해서는 고려해야 될 인자들은 여러 가지이며, 각 인자들은 서로 연관성을 갖기 마련이다. 즉, 구조물의 종류, 시공방법, 콘크리트의 설계기준강도를 우선 고려하여 배합설계를 수행해야 하며, 이와 더불어 철근간격, 콘크리트 타설방법, 다짐방법, 작업방법, 현장의 품질관리능력 등도 복합적으로 고려해야 한다. 이를 위해서는 크게 강도, 내구성, 수밀성 등의 콘크리트 특성과 시공지역의 외부환경조건도 고려해야 한다.

또한, 이와 관련된 재료적 요인을 살펴보면 시멘트의 강도, 분말도, 비중 등의 재료적 특성, 골재의 강도, 마모저항성, 비중, 크기, 입자의 크기분포, 혼화재료, 배합수 등 콘크리트를 구성하고 있는 재료들에 대한 다양한 재료적 특성을 고려해야 한다. 이처럼 보통 쉽게 생각하는 콘크리트의 배합설계에는 다양한 인자들을 고려하여야만 합리적인 배합설계를 수행할 수 있는 것이다. 각국의 배합설계절차 중 대표적으로 미국의 경우를 예로 들었는데, 그림 1은 ACI의 배합설계 절차를 나타낸 것이다.

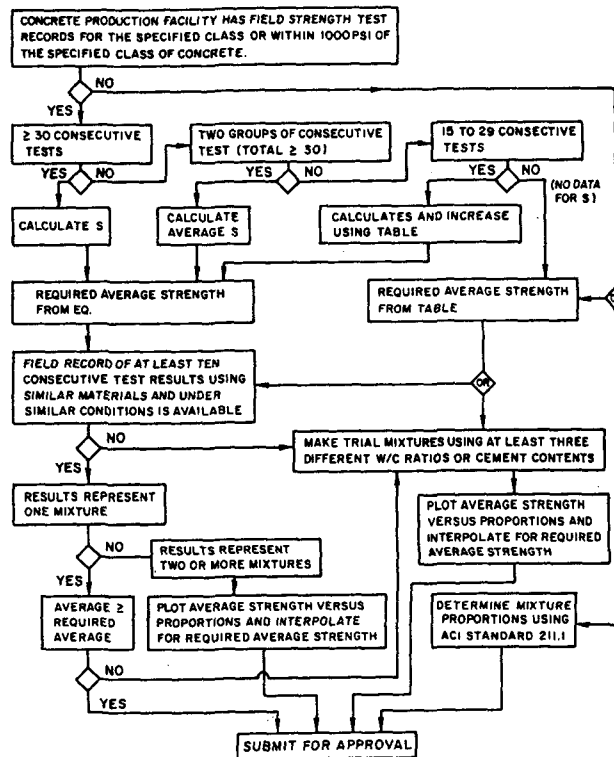


그림 1. ACI 318에 의한 배합설계 흐름도

2.2 콘크리트 배합설계의 비교 고찰

각국의 배합설계의 절차를 간략히 비교하여 나타내면 표 1과 같다. 표 1에서도 알 수 있듯이 국내의 콘크리트 배합설계절차는 미국과 유사한 점이 많으며, 시방서 개정전에는 일본의 콘크리트배합설계방법과 유사한 점이 많았다. 그러나 현재 미국과는 달리 고강도콘크리트의 배합설계를 위한 절차나 방법 등은 준비되어 있지 않은 상황이며, 조속히 마련되어야 할 것으로 판단된다. 또한 영국의 경우와 비교하면 다소 차이가 남을 알 수 있다.

표 1. 각국 콘크리트 배합설계 절차의 비교

Step	KCI	ACI		BS
		보통강도	고강도	
1	f_{cr} 의 선정	Choice of slump	슬럼프 및 배합강도의 선정	목표강도 설정
2	강도 및 내구성을 고려한 W/C의 선정	Choice of G_{max}	굵은골재최대치수의 선정	W/C의 결정
3	G_{max} 의 선정	Estimate of W and Air	최적굵은골재량의 선정	작업성, 굵은골재최대치수, 골재의 종류에 따른 W 결정
4	Slump의 결정	Selection of W/C	배합수 및 공기량 산정	G_{max} 와 노출정도에 따른 C 결정
5	Air, S/a, W의 결정	Calculation of C	물-결합재비(W/(C+P))의 선정	전골재량의 결정
6	S/a, W의 보정	Estimate of G	결합재량의 계산	골재량 계산, S/a에 따른 G 및 S 결정
7	C 및 혼화재료량의 결정	Estimate of S	시멘트 외의 다른 혼화재료를 고려하지 않은 기본배합비의 선정	
8	G 및 S의 결정	Adjustments to mix proportions	혼화재료를 사용한 배합비	
9	시험배치 및 결과 분석		Trial Mixtures	
10	현장배합			

2.3 콘크리트 배합설계의 비교 · 고찰 및 경제성 비교

각국의 배합설계를 비교하기 위하여 설정한 강도조건은 표 1과 같으며, 그밖의 조건은 다음과 같이 설정하였다.

- 1) Type of concrete : no air entrained concrete
- 2) Slump : 50 mm
- 3) Type of cement : ordinary portland cement, specific gravity 3.15

- 4) Coarse aggregate : maximum size of aggregate 20mm, well-shaped angular aggregate, specific gravity 2.64, bulk density 1600 kg/m³
- 5) Fine aggregate : specific gravity 2.58, finess modulus 2.60, percentage of fine aggregate passing 600 μm sieve

표 2. 배합설계를 위한 강도조건

	Standard cylinders	Standard cylinders	Standard cube
Measured on Mean 28-day compressive strength	300 (kgf/cm ²)	29.4 (MPa)	37.0 (MPa)
	357 (kgf/cm ²)	35.0 (MPa)	44.0 (MPa)
	400 (kgf/cm ²)	39.2 (MPa)	49.3 (MPa)

앞서 설정한 조건에 따라 콘크리트를 배합설계한 결과는 표 3과 같으며, 콘크리트 구성재료 중 단가가 가장 높은 시멘트에 대하여만 그 경제성을 비교하여 보았다.

표 3. 각국 콘크리트 배합설계방법에 의한 산출결과 및 경제성 비교

배합강도 f _{cr} (kg/cm ²)	W/C (%)	S/a (%)	단 위 량 (kg/m ³)				콘크리트 단위중량 (kg/m ³)	단가 (원/m ³)	비교단가 (kg/m ³)	Mix design method
			W	C	S	G				
300	0.42	41	178	424	699	1030	2331	30700	0	KCI
	0.50	42	190	380	725	1024	2319	28700	-2000	ACI
	0.55	33	180	327	625	1268	2400	27100	-3600	BS
357	0.38	41	178	468	684	1008	2338	33200	0	KCI
	0.48	42	190	396	712	1024	2322	29400	-3800	ACI
	0.48	32	180	375	590	1255	2400	27700	-5500	BS
400	0.35	40	178	509	655	1003	2345	34500	0	KCI
	0.44	41	190	432	684	1024	2330	31000	-3500	ACI
	0.44	32	180	409	580	1231	2400	30700	-3800	BS

비교 : 1) 건설자재(1996년도판, 건설경영연구소)를 참조하여 단가계산.

- ▶ 시멘트 : 49,044 원/ton ⇒ 49.044 원/kg
- ▶ 잔골재 : 단가와 단위중량을 각각 8000 원/m³, 1600 kg/m³ 으로 가정 ⇒ 5 원/kg
- ▶ 굵은골재 : 단가와 단위중량을 각각 10000 원/m³, 1600 kg/m³ 으로 가정
⇒ 6.25 원/kg 으로 계산

KCI에 의한 산정결과, 다른 방법에 비하여 물-시멘트비는 가장 낮으면서도 단위시멘트량이 높게 나왔다. 동일 강도하에서 단위시멘트량이 높다는 것은 콘크리트의 여러 가지 특성상 건조수축이나 수화열 등의 면에서 콘크리트에 불리한 점으로 작용하며, 경제적인 배합을 만들기가 어려워진다. 따라서

이러한 점을 고려한 배합설계방안이 나와야 하며 필히 개선되어야 할 사항이라고 사료된다. 이와 더불어 국내 시멘트의 품질개선에도 관심을 가져야 할 것으로 생각된다.

BS방법에 의한 결과, 가장 높은 물-시멘트비가 산정되어 불리할 것으로 예상되었으나, 비교적 작은 단위수량하에서 단위시멘트량이 가장 작고, 단위중량이 가장 높은 결과를 보여 가장 경제적이고 밀실한 콘크리트의 제조가 가능하다는 결과를 보여 주었다. 그러나, 잔골재율에서 타 방법에 비하여 가장 낮은 결과를 보이고 있으며, 이는 재료분리경향을 증대시켜 자칫 소요의 강도와 내구성 확보에 치명적인 원인을 제공할 수 있으므로 추후 반드시 검증해봐야 할 사안이고 판단된다.

ACI에 의한 결과는 KCI와 BS에 의한 결과의 중간적인 경향을 보이고 있으며, KCI보다는 경제적인 콘크리트를 제조할 수 있을 것으로 예상된다. 그러나 타 방법에 비하여 단위수량이 가장 높고, 단위중량에서 가장 떨어지는 결과를 보여주는 것으로 보아 밀실한 콘크리트의 제조에는 다소 문제가 발생할 소지가 있는 것으로 사료된다. 따라서 이러한 결과에 주목하여 확인시험을 해야 할 것이다.

경제성 비교결과, KCI에 의하여 산정된 배합비가 경제성면에서 가장 불리한 결과를 보이고 있으며, 고강도로 갈수록 그 차이가 커지는 경향을 보여 주고 있다. 따라서, 보통강도에 대한 배합설계방법뿐만 아니라 고강도영역에서 경제적이고, 합리적인 배합설계 절차를 제정하여 실용화하는 것이 시급한 과제라고 판단된다.

3. 결 론

- 1) KCI에 의한 산정결과, 다른 방법에 비하여 물-시멘트비는 가장 낮으면서도 단위시멘트량이 높게 나왔다. 동일 강도하에서 단위시멘트량이 높다는 것은 콘크리트의 여러 가지 특성상 건조수축이나 수화열 등의 면에서 콘크리트에 불리한 점으로 작용하며, 경제적인 배합을 만들기가 어려울 여지가 있는 것으로 사료된다.
- 2) BS방법에 의한 결과, 가장 높은 물-시멘트비가 산정되어 불리할 것으로 예상되었으나, 비교적 작은 단위수량하에서 단위시멘트량이 가장 작고, 단위중량이 가장 높은 결과를 보여 가장 경제적이고 밀실한 콘크리트의 제조가 가능하다는 결과를 보여 주었다. 그러나, 잔골재율에서 타 방법에 비하여 가장 낮은 결과를 보이고 있으며, 이는 재료분리경향을 증대시켜 자칫 소요의 강도와 내구성 확보에 치명적인 원인을 제공할 수 있으므로 추후 반드시 검증해봐야 할 사안이고 판단된다.
- 3) ACI에 의한 결과는 KCI와 BS에 의한 결과의 중간적인 경향을 보이고 있으며, KCI보다는 경제적인 콘크리트를 제조할 수 있을 것으로 예상된다. 그러나 타 방법에 비하여 단위수량이 가장 높고, 단위중량에서 가장 떨어지는 결과를 보여주는 것으로 보아 밀실한 콘크리트의 제조에는 다소 문제가 발생할 소지가 있는 것으로 사료된다.
- 4) 경제성 비교결과, KCI에 의하여 산정된 배합비가 경제성면에서 가장 불리한 결과를 보이고 있으며, 고강도로 갈수록 그 차이가 커지는 경향을 보여 주고 있다. 따라서, 보통강도에 대한 배합설계방법뿐만 아니라 고강도영역에서 경제적이고, 합리적인 배합설계 절차를 제정하여 실용화하는 것이 시급한 과제라고 판단된다.
- 5) 앞에서 산정된 결과는 실험을 거치지 않은 배합비로 추후 검증실험 및 보완실험을 수행할 예정이다. 그러나 이러한 배합비가 검증시험을 거쳐 미리 가정한 배합설계조건을 만족시킨다면 국내의 배합설계방법은 외국에 비하여 역학적 특성뿐만 아니라 경제적인 면에서도 다소 떨어지게 된다. 따라서, 국내의 배합설계방법이 외국과 같은 수준으로 높이기 위해서는 콘크리트를 이루고 있는 구성재

료에 대한 철저한 실험과 개선연구가 필요하며, 이러한 실험결과를 토대로 물리적 특성이 개선되고 경제성도 확보될 수 있는 합리적인 배합설계방법의 확립이 시급하다고 판단된다.

- 6) 또한 최근 콘크리트 선진국에서는 고성능콘크리트에 대한 개발 및 성능개선에 대한 연구에 큰 관심을 기울이고 실제 특수구조물뿐만 아니라 일반구조물에 까지 그 적용을 확대하고 있는 실정이다. 이에 비하여 국내의 경우는 초보적인 기술수준에 머무르고 있으며, 그 적용도 기피하는 상황이다. 따라서 이에 대한 관심과 부단한 연구를 기울여 사회기반에 중추적 재료인 콘크리트분야에 도약하는 계기를 만들도록 해야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. ACI 211.1-91, "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete", ACI Manual of Concrete Practice, Part I, 1996.
2. ACI 221.4R-93, "Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash", ACI Manual of Concrete Practice, Part I: Materials and General Properties of Concrete, 13 pp.(Detroit, Michigan, 1994).
3. Department of the Environment, "Design of Normal Concrete Mixes", 42 pp.(Building Research Establishment, Watforg, U.K., 1988).
4. ACI 207.2R, "Effect of Restraint Volume Change and Reinforcement on Cracking of Mass Concrete" ACI Manual of Concrete Practice, 1996.
5. 건설교통부, "콘크리트표준시방서", 1999.
6. 건설경영연구소, "건설자재", 1996.