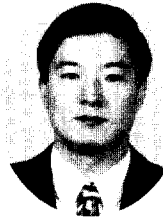


국내 콘크리트의 품질개선을 위한 각 방면에서의 제안

## 콘크리트 건축물의 양질시공을 위한 현장 품질관리기술에 대한 소고

Technical Survey on the QC of Concrete in In-Situ  
for the Better Concrete Structures



윤상천\*



지남용\*\*

### 1. 서 론

국내에서 철근 콘크리트가 최초로 사용된 것은 1910년의 부산세관 건물로 기록되어 있다. 그 이후에도 콘크리트는 경제적이고 강도와 내구성이 비교적 높고, 다양한 성능을 갖는 콘크리트의 제조가 용이하다는 등의 장점과 재료의 다양화, 제조설비·기술, 품질·시공 관리기술의 진보와 함께 구조물 설계·해석기술의 고도화 등에 힘입어 가장 보편화된 재료로 사용되고 있다.

그러나, 최근 반영구적이라고 생각되고 100년 이상의 수명을 갖는 것으로 간주되어 온 콘크리트 건축물에 대한 신앙이 붕괴되고 있으며, 현재는 그 수명이 20년 밖에 되지않는 등으로 보도되고 있다.

결국, 20년 주기로 막대한 재원의 재투자자와 짓고 부수는 일의 반복이 필연적이라면 이는 매우 심각한 상황이며, 이러한 상황이 개인 또는 특정분야에 한정

된 책임이 아니라 콘크리트에 대한 건설업 전체의 인식부족에 기인하는 것이라 생각할 때 더욱 더 안타까운 심정을 금할 수 없다.

콘크리트는 현장에 도착되어 부어넣기 전에 일련의 시험과정을 통하여 품질을 검사·확인하도록 되어 있으나, 현장여건의 어려움 또는 콘크리트의 품질 및 각종 기준에 대한 명확한 이해의 부족으로 인하여 일련의 품질확인 및 관리과정이 소홀히 다루어 지고 있다는 것이 가장 큰 문제점으로 생각된다.

따라서, 본 고에서는 콘크리트에 대한 신뢰성 회복은 콘크리트 제조자 뿐만 아니라 설계자를 포함한 현장종사자의 품질확보를 위한 관심과 노력에 의해서만 가능하다는 교과서적인 개념을 전제로 하고, 콘크리트 건축물에 요구되는 강도, 내구성, 수밀성 등의 품질을 만족시키기 위하여 이루어지고 있는 부어넣기·다짐, 양생과정에서의 주요 기준 또는 지침에 대한 의미를 재검토하여 현장기술자의 정확한 판단과

\* 정회원, 대한주택공사 부설주택연구소 주임연구원

\*\* 정회원, 한양대학교 건축공학부 조교수

대응책 강구를 위한 자료를 제공하고자 한다.

## 2. 콘크리트 공사현황 및 문제점

콘크리트의 품질은 일차적으로 레미콘 공장의 배합과정에서 결정되며 제조자의 품질보증이라는 책임이 요구된다.

건설현장에 도착한 후에는 그림 1에 나타낸 것과 같이 반입 이전에 시공자 또는 구매자에 의한 품질확인 및 부어넣는 위치로의 운반, 부어넣기, 충전·다짐, 양생 과정에 대한 일련의 관리에 의해 콘크리트 구조물의 양부가 결정되며, 각 과정에 대한 관리상의 유의사항은 다음과 같다.

- ① 거푸집으로 부어넣기, 충전·다짐을 위하여, 진동기 등 다짐기구의 수량, 배치위치, 소요인원 등을 확인한다.
- ② 레미콘차가 도착하면 발주시 지정된 사항과의 일치 여부를 서면으로 확인한다.
- ③ 슬럼프, 공기량 등의 품질을 KS 규격에 준하여 검사하고, 합격한 레미콘을 대상으로 압축강도 시험용 공시체를 제작한다.
- ④ 이상의 검사에서 합격한 것을 대상으로 현장에 반입한다.
- ⑤ 콘크리트 투입구 또는 호퍼입구에서 슬럼프 등

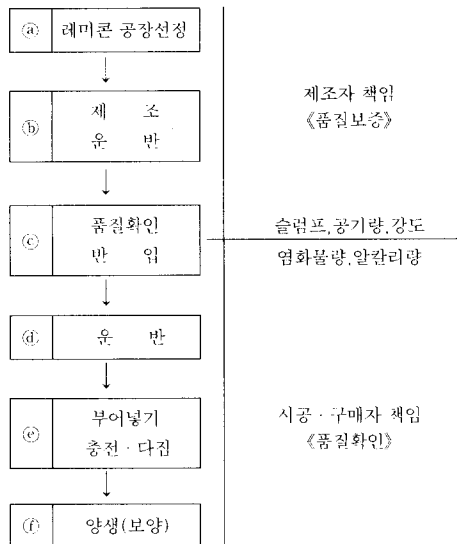


그림 1 콘크리트공사 진행 흐름과 책임구분

의 품질을 직접 육안으로 관찰하면서, 재하된 콘크리트를 펌프차나 운반차 등으로 받거나 레미콘차의 슈트를 통하여 직접 거푸집에 부어 넣는다.

- ⑥ 콘크리트 품질을 부어넣는 과정의 처음부터 최후까지 육안으로 확인한다.
- ⑦ 봉형 및 거푸집 진동기 또는 다짐봉 등으로 충분히 충전한다.
- ⑧ 충전한 콘크리트가 안정될 무렵, 다시 진동기를 삽입하여 다시 진동을 가하여 다짐한다.
- ⑨ 콘크리트 표면을 마무리한다.
- ⑩ 콘크리트 노출면이 건조되기 전에 양생 매트를 깔고 물을 뿌린다. 최저 7일 이상, 10일 정도 콘크리트의 노출면이 항상 물과 접하게 한다.

즉, 양질의 콘크리트 건축물은 일련의 콘크리트 공사 진행과정에 대한 관련 종사자 전원의 집결된 힘과 노력에 의해서만 구현될 수 있으며, 단지 현장에 도착한 레미콘의 슬럼프, 공기량 등의 품질만을 엄격하게 확인 후 적당히 거푸집에 부어넣는 것만으로는 불가능하다.

그러나, 유감스럽게도 국내 대부분의 건설현장에서는 콘크리트 시공시, 위에서 지적한 사항들이 올바르게 실행되지 않고 있으며, 특히, ⑦, ⑧의 충전 및 다짐작업, ⑩의 양생이 올바르게 이루어지고 있는 현상은 드문 것이 현실이다.

이러한 현실에서는 콘크리트 표면에서의 골재 집중현상(honeycomb) 및 공동현상균열 등의 결함발생이 필연적이며, 이러한 환경·상태에 대한 구실로 한정된 예산 또는 공사기간 등을 문제로 거론할 수 있으리라고 생각된다.

그러나, 공사비의 경우 표 1의 예에서와 같이 건축공사비 중 콘크리트의 시공에 소요되는 비용이 2% 이하임을 감안할 때, 품질향상을 위하여 추가되는 콘크리트 시공비 상승은 전체 공사비에 큰 영향을 미치지 않으며, 구조물의 내구성능 향상에 따른 장기적인 기대효과까지를 고려한다면 실질적인 품질 향상방안의 확보는 어렵지 않을 것으로 판단된다.

⑩의 관리항목에서 지적한 양생매트의 경우도 비교적 고가이므로 현장에서는 구비하지 않으려고 하는 것이 일반적이지만 한번 사용하면 그 유용성으로 인하여 콘크리트 공사의 필수품이라는 것을 절실히

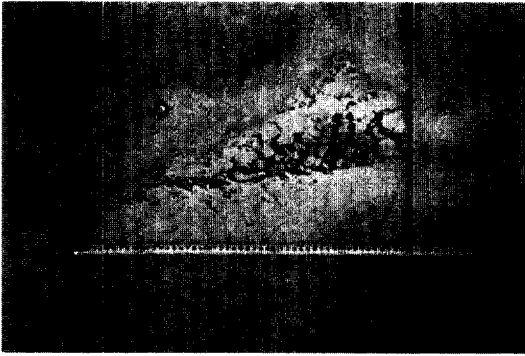


그림 2 공재집중현상 발생예

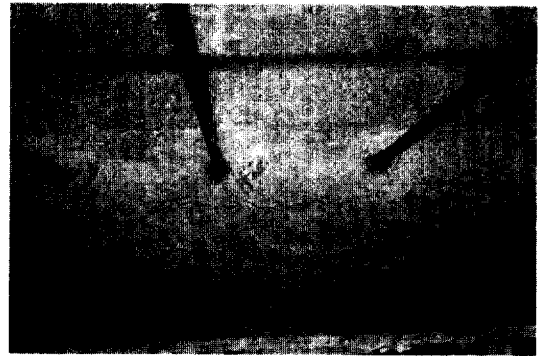


그림 3 건조수축균열 발생예

표 1 공사비 구성비율(RC조 고층집합주택<sup>1)</sup>의 예)

공사비목	공사비 비율(%)	구체공사 내역	공사비 비율(%)
기설공사	5.7	콘크리트 재료비	6.7
철근콘크리트공사	42.8	콘크리트 시공비	1.2
미장공사	18.8	철근공사비	10.7
기타	32.7	거푸집공사비	24.2

게 느낄 수 있으며, 결코 비싸지 않다고 생각하게 된다.

⑦, ⑧의 충전, 다짐은 단위수량의 최소화와 함께 경화된 콘크리트의 밀실성 확보를 위한 필수적인 항목이며, 최근까지 굳지 않은 콘크리트의 시공성만을 고려하여 비일비재하게 자행되었던 현장에서의 가수(물 첨가)는 근절되어야 한다.

또한, ③에서 경화된 후의 공시체 압축강도 시험결과만으로 품질을 확인하는 항목에서는 콘크리트의 품질은 강도 뿐만 아니라 내구성, 내동해성, 내약품성 등에 대한 확인도 필수적이므로, 이상의 콘크리트의 품질을 가장 합리적으로 표현할 수 있는 대표적인 특성치인 밀실성을 추가적으로 고려하는 것이 바람직하다고 판단된다.

### 3. 부어넣기 및 다짐

콘크리트는 비중이나 크기가 다른 입자와 물의 혼합물로 구성되어 분리되기 쉬운 성질을 갖고 있으므로 분리되지 않도록 부어넣는 것이 중요하다. 그러나, 기존의 건설현장에서는 대부분 펌프 압송관의 토

출구에서 거푸집으로 유입되는 콘크리트에 진동을 가하는 등 진동기를 효과적으로 사용하지 않고 있는 실정이다.

거푸집으로의 콘크리트의 유입만으로는 콘크리트에서 가장 중요한 다짐이 이루어지지 않으며, 오히려 부어넣는 과정에서의 진동기 사용은 심각한 재료분리의 원인이 될 수 있다.

따라서, 콘크리트의 다짐(충진·다짐)은 콘크리트의 밀실성 확보를 위하여 필수적이며, 부어넣기 종료 후 경화되지 않은 콘크리트 내부의 공극을 줄이고 철근 또는 기타 매설물과 정착시켜 콘크리트를 밀실하고 균일하게 하는 과정이다.

혹시 콘크리트 공사에서 인력절감을 위하여 연구가 진행되고 있는 다짐이 불필요한 콘크리트의 활용이라는 최근의 시공경향에 역행한다는 의견도 있을 수 있을 것이다.

그러나, 현 단계에서는 다짐과정에서 시간과 공을 들여 시공된 콘크리트는 노력한 만큼 내부조직이 밀실하게 되어 우수한 내구성을 발휘하지만, 이와는 반대로 공을 들이지 않은 경우, 내부조직이 조잡해지고 콘크리트 내부 철근이 부식되거나 콘크리트가 박리될 수도 있다는 점을 간과해서는 안된다.

이와 같은 진동다짐은 입자에 진동을 주어 입자간의 점성 또는 마찰을 감소시켜 유동화시키는 것으로, 다짐효과는 콘크리트에 가해진 총일량에 의해 평가된다.

여기에서 총일량(W)은 진동기의 진동수(f), 가속도(a), 진폭(A)에 의해 다음의 식과 같이 나타낼 수

1) K지역의 59m<sup>2</sup>(15층)형 아파트 60세대에 대하여 대한주택공사의 1996년도 예산내역서 적용

있으며, 진동효과는 그림 4 및 그림 5에서와 같이 진동수<sup>2)</sup> 및 가속도<sup>3)</sup>에 비례하는 것으로, 일반적으로 7000~1200rpm 정도의 진동수가 바람직하고, 진폭 및 다짐시간에도 비례한다

$$W = \rho(\pi Af)^2 t = \frac{\rho a^2 t}{(4\pi f)^2}$$

단,  $\rho$  : 콘크리트 밀도 (g/cm<sup>3</sup>),  $t$  : 진동시간 (sec)

이상에서 부어넣기 및 다짐의 중요성과 다짐의 원리에 대하여 언급하였으나, 콘크리트의 내구성은 부어넣기 및 진동다짐에 의해 결정된다고 해도 과언은 아니라는 것을 재차 강조한다.

양질의 콘크리트 시공을 위하여, 봉형 진동기를 대상으로 한 진동기의 사용방법을 요약하면 다음과 같다.

- ① 거푸집 충전용 진동기는 펌프차 1대당 2~4대로 한다.
- ② 부어넣기 후 철근 및 골재 밑면의 공기제거 등을 위하여 충전 후, 10~15분 이내에 다시 진동(다짐)을 가한다.
- ③ 진동봉의 직경은 콘크리트 슬럼프, 부재의 두께

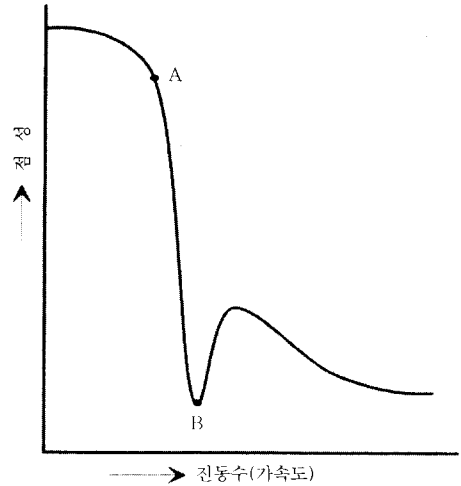


그림 4 진동수와 콘크리트의 점도

및 피복두께에 의해 결정하고, 일반적으로 슬럼프 15cm 이하일 경우에는 50φ 이상, 12cm 이하일 경우에는 60φ 이상이 바람직하다.

- ④ 진동기의 수량은 콘크리트 슬럼프와 부어넣기 속도에 따라 선택하며, 펌프차 1대당 충전용 2~4대, 다짐용은 1~2대로 한다.

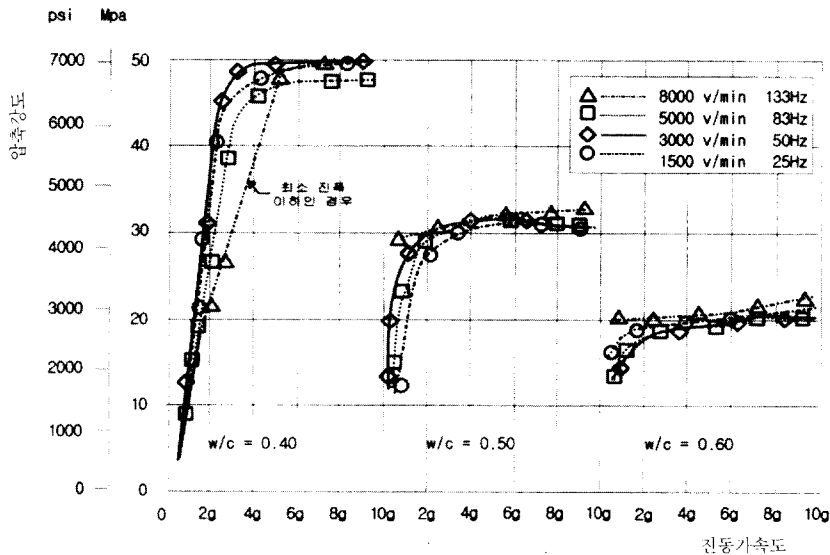


그림 5 진동가속도와 콘크리트의 압축강도

2) 日本コンクリート工學協會, 콘크리트技術の要點, 技報堂, 1993. 9, pp. 136~138.

3) ACI Committee 309, Behavior of Fresh Concrete During Vibration, ACI JOURNAL Jan.-Feb., 1981, pp. 43~47.

표 2 양생에 관한 규정<sup>4)</sup>

계절	유해 작용	양생방법	양생시간 및 양생온도
일반	<ul style="list-style-type: none"> <li>급속한 건조, 온도변화, 직사일광, 한기, 충격</li> <li>최저 1~3일 이내에서 보행 및 중량물 방지</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>습윤양생(물뿌리기), 거적·포장 등의 양생 매트</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>습윤양생기간은 7일 이상 (조강시멘트: 3일 이상)</li> </ul>
한중	<ul style="list-style-type: none"> <li>초기동해</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>단열보온양생 또는 가열온도양생</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>50kgf/cm<sup>2</sup>의 강도가 될 동안에 0℃ 이하로 되지 않도록 양생</li> </ul>
서중	<ul style="list-style-type: none"> <li>수분의 급격한 증발 및 직사광선에 의한 온도상승</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>습윤양생</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>담당원의 지시에 따름</li> </ul>

## 4. 양 생

콘크리트의 양생은 부어넣기 후, 저온, 건조, 급격한 온도변화에 의한 유해한 영향을 받지 않고, 경화 중에 진동, 충격 및 하중이 가해지지 않도록 콘크리트를 보호하기 위해 취해지는 조치로, 중요성에 대한 더 이상의 언급이 필요치 않을 것으로 판단된다.

양생과 관련하여 준수해야만 하는 최소한의 규정을 정리하여 나타내면 표 2와 같으며, 이에 대한 방법 또는 수단을 습윤양생, 보온양생, 진동·충격·재하에 대한 보호로 분류하여 설명하고자 한다.

### 4.1 습윤양생

콘크리트에 사용되는 혼합수는 유동성을 확보하기 위하여 시멘트의 수화작용에 필요한 수량에 비하여 많아지는 것이 일반적이며, 굳지 않은 콘크리트에 포함된 수량이 그대로 유지된다면 콘크리트의 경화에 요구되는 별도의 물을 공급할 필요는 없다.

그러나 대기 중에 방치한 경우 콘크리트 표면이 급격하게 건조되고 콘크리트 내부의 수분이 방출되어, 충분한 수화반응을 기대할 수 없으므로 그림 6에서와 같이 강도증진이 급격하게 감소된다.

콘크리트의 밀실성도 그림 7에서 알 수 있듯이 습

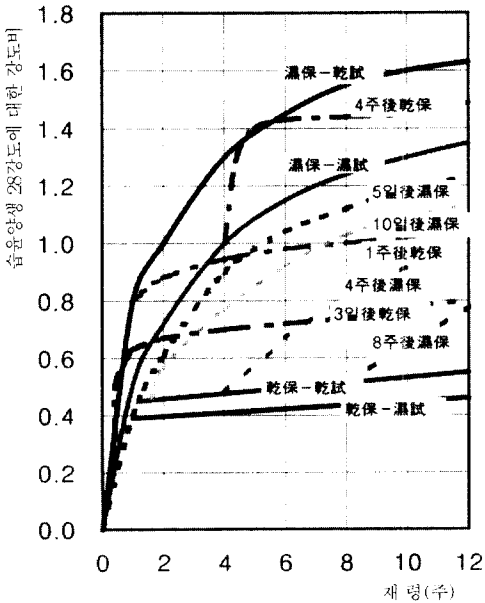


그림 6 습윤양생 28일 강도에 대한 각종 양생방법인 경우의 강도비

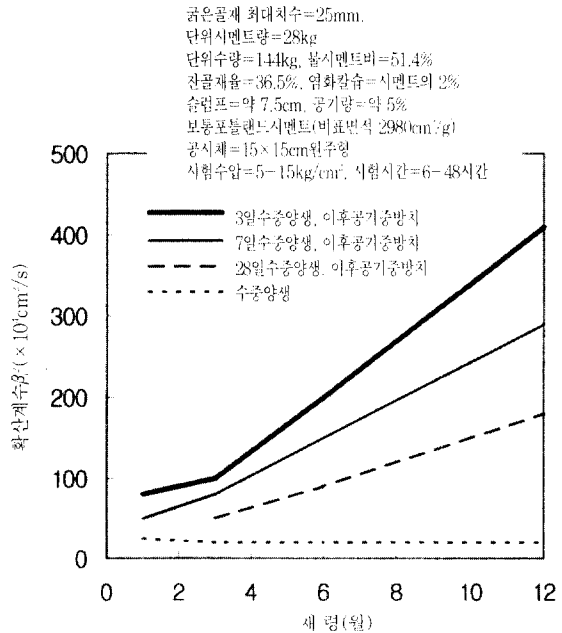


그림 7 습윤양생기간이 콘크리트의 수밀성에 미치는 영향

4) 대한건축학회, 건설부 제정 건축공사표준시방서, 1994, pp. 120~121.

윤양생기간에 의해 현저한 영향을 받게 된다.

따라서, 콘크리트 부어넣은 후에는 '각 과정에 대한 관리상의 유의사항 ⑩'에서 언급한 바와 같이 반드시 양생 매트를 깔고 물을 뿌리는 등 장기간 습윤 양생하여야 하며, 초기재령에서의 급격한 건조가 그림 3에서 예시한 표면에서의 건조수축균열의 가장 큰 원인이 된다는 것도 인식해야 한다.

#### 4.2 보온양생

시멘트의 수화반응속도는 양생온도에 따라 변화되는 것으로, 양생온도가 높을수록 빠르고 낮을수록 느리다.

따라서, 온도가 낮으면 강도발현이 늦어지지만, 콘크리트의 양생온도를 낮게 유지시키면, 장기강도의 증진이 크고, 양생온도를 높이면 장기강도의 신장이 낮아진다.

그러나, 부어넣을 때의 콘크리트 온도와 기온이 지나치게 낮아지면 콘크리트 내부의 수분이 동결되고, 시멘트 페이스트의 조적이 파괴되어 장기강도의 발현이 저해된다.

일반적으로 콘크리트의 온도가  $-2^{\circ}\text{C}$  전후에서 동결하는 것으로 알려져 있으며, 콘크리트의 압축강도가  $50\text{kgf/cm}^2$  이상이 되면 동결의 영향을 받기 어렵기 때문에, 한중 콘크리트의 경우 초기양생기간을 콘크리트 압축강도가  $50\text{kgf/cm}^2$ 에 달할 때까지로 규정하고 있다.

#### 4.3 진동·충격·재하에 대한 보호

충분히 경화되지 않은 콘크리트에 진동·충격 또는 과도한 하중을 가하면 균열이나 손상을 받게 된다.

즉, 초기재령의 콘크리트에 과도한 하중이 가해지면, 단기적으로는 균열 또는 파괴가 발생되지 않을 수 있으나 장기적인 크리프에 의한 처짐의 증대로 균열이 발생되므로 재하는 받침기둥의 제거시기 등을 참조하여 신중하게 해야 하며, 콘크리트 부어넣기 후, 적어도 1일간은 그 위를 보행하거나 그 위에서 작업을 해서는 안된다.

## 5. 결 언

본 고에서는 현장에서 양질의 콘크리트 건축물 시공을 위해서는 좋은 콘크리트란 무엇인가에 대한 이해가 필수적이라는 개념에서 출발하여 현장에서의 콘크리트 시공분야를 부어넣기, 다짐, 양생으로 나누어 본래의 성질에 맞는 취급방법을 설명하였다.

즉, 취급의 인식을 높이는 것만으로도 양질의 건축물이 가능하며, 양질의 콘크리트란 올바르게 시공된 콘크리트의 경화가 진행됨에 따라 충분한 물을 공급하여 양생한 것으로 필요한 강도를 발휘하고, 수축률이 작고, 수밀성 및 내구성이 높아 내용연수가 긴 콘크리트를 말한다.

또한, 이와 같은 콘크리트 건축물의 구현을 위해서는 소재·제품의 성능을 충분히 발휘하면서 콘크리트 공사의 자동화 및 인력절감이 가능한 시공기술 개발과 구조체 콘크리트의 품질 평가기술의 개발 등이 시공자에게 요구되기도 한다.

그러나, 궁극적으로 위기적인 상황을 초래할 수 있는 최근의 콘크리트의 구조물의 조기 성능저하 또는 콘크리트의 각종 결함은 현행의 제도 또는 관리상의 어려움 등과 같은 문제라기 보다는 단기적인 이익 추구로 인한 품질의 소외와 관련 종사자 전원의 작은 실수의 집적으로 이루어진다는 것이다.

결국, 양질의 건축물은 근본적으로 관련 기술자 전원이 집결된 힘이 없이는 불가능할 것이며, 관련분야의 모든 종사자의 노력에 의해 콘크리트는 우수한 성능을 갖고, 신뢰성이 높은 재료로 장래의 사회자본정비에 크게 공헌할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

1. 대한건축학회, "건설부 제정 건축공사표준시방서", 1994
2. 대한주택공사, "공사감독업무요령(공무행정, 기술)", 1995
3. 윤상천, 지남용, 이리형, "진동다짐이 경화된 콘크리트의 물성에 미치는 영향평가를 위한 실험연구", 윤상천, 지남용, 이리형, 논문집 제12권 제4호, 통권 제90호, 대한건축학회, 1996. 4, pp. 231~239
4. 윤상천, 지남용외, "장기재령 건축물의 콘크리트 품질 및 중성화에 관한 연구", 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 제8권 제1호, 1996.11, pp.189~195.

5. ACI Committee 309, "Behavior of Fresh Concrete During Vibration(Committee Report)", ACI JOURNAL Jan.-Feb., 1981, pp. 36~53.
6. Steven H. Gebler, "Consolidation of Concrete", ACI Committee 309(SP-96), 1987.
7. 日本콘크리트工學協會, "콘크리트技術の要點", 技報堂, 1993. 9.
8. 岩下秀男外 "建築施工管理の現場教本-今日の仕事・明日の指針", 章國社, 1993. 10, pp.96~115.
9. 井上博・岩瀬文夫, {サ・生コン}, "知っていそうで知らない生コン打設の技術", 1996.1
10. 黒羽健嗣, "콘크리트の良さを建築工事に活かす", 콘크리트工學, Vol. 35, No.1, 1997.1 pp.11~13

## 콘크리트학회 전문서적보급안내

### 최신콘크리트공학

- 이 책은 콘크리트 기본 구성재료의 특성 및 요건 등을 분석하고 이들 구성재료를 이용한 배합 설계, 굳지 않은 콘크리트의 기본성질, 혼합, 운반 및 타설과정의 특기사항, 양생, 콘크리트의 시험, 품질관리, 내구성 뿐만 아니라 최근에 개발되고 있는 새로운 콘크리트의 제조 및 제반 특성에 이르기까지 포괄적인 내용을 실고 있다.
- B5 · 682면/정가 20,000원(회원 10% 할인), 우송시 송료 2,100원 별도부담

### 고성능유동화제를 이용한 고강도콘크리트의 제조와 특성 및 활용 - 본 학회 국제 워크숍 교재 -

- 집필진 : Pierre-Claude Aitcin, 노재성, Yasuo Tanigawa, 신성우, 오병환
- A4 · 360면/정가 20,000원(회원 10% 할인)