특집

현장콘크리트의 품질개선 대책 및 방향

국외 현장콘크리트 품질확보 현황 및 제기준

Quality Control Programs for Fresh Concrete in Germany, Japan and U.S.A

조 재 병* 정 상 진** 최 완 철***

1. 머리말

한때 중동지역에 우리 건설기술자가 많이 진출하였을 때, 구조기술자의 株價(?)가 아주 높았을 적이 있었다. 당시 현장에서 엔지니어의 서명이 있어야만 공사가 진척되었기 때문이었다.

마찬가지로 외국에서도 콘크리트 공사시에 엔지니어의 확인이 중요하고 품질이 확인되어야 공사가 진행됨은 물론이다. 제반 법규, 규준을 공정히 규정하고 이를 엄격하게 지키는 습관이 몸에 밴 유럽, 일본 미국사회에서 콘크리트의 품질이 잘 확보되는 이유에 대해서 특별한 설명이 필요없겠다.

콘크리트는 생산, 운반되어 현장타설 되기까지 그 품질이 흐트러지기 쉽다. 레미콘에 의해 생산될 때, 배합과정에서 콘크리트의 품질이 결정되지마는, 현장에 도착되어 타설되기전에 일련의 시험과정에서 검사, 확인하도록 되어 있다. 그러나 현실적으로 품질관리와 시험은 대부분 소홀하기 마련이고 오직 능률과 이윤에 우선을 두게되어 품질이 쉽게 저하된다. 최근 국내에서 소위 부실시공에 대한 우려가 높고 콘크리트 품질확보를 위한 대책이 깊게 논의되고 있다.

이 기사에서는 독일, 일본, 미국에서의 현장콘크리트 품질시험, 콘크리트시험 제도에 관하여 알아봄으로써 그곳의 콘크리트가 어떠한 방법으로 시험되고 품질이 확보되는지, 그 배경을 이해하고 우리나라에서 현장콘크리트 품질을 확보할 수 있는 방안 마련에 도움이 되고자 한다.

2. 독일의 콘크리트 품질관리

2.1 관련규격

독일의 건설업계에서는 대부분 독일공업규격 DIN 1045의 규정에 따른 콘크리트를 사용하고 있으며 특수한 성능을 요구하는 경우에 대해서는 이에 따른 별도의 추가지침서등에 의거하여 콘크리트의 성능과 품질을 확보하도록 하고 있다. DIN

* 정회원, 경기대학교 토목공학과 교수, 공박
** 정회원, 단국대학교 건축공학과 교수, 공박
*** 정회원, 중실대학교 건축공학과 교수, 공박

1045는 보통콘크리트와 중량콘크리트를 이용한 콘크리트와 철근콘크리트 구조물의 설계 및 시공에 관한 일반적인 규정을 담고 있으며, 콘크리트의 재료, 생산, 사용 그리고 이에 관련된 품질관리 등에 관한 규정도 포함하고 있다. 특히 품질관리에 대해서는 DIN 1084의 규정에 따르도록 명시되어 있으며, 품질관리를 위한 시험방법은 DIN 1048에 따르도록 규정되어 있다. 이 외에도 프리스트레스트 콘크리트는 DIN 4227에서, 그리고 경량콘크리트에 관한 사항은 DIN 4219에서 다루고 있다. 콘크리트의 재료, 생산, 품질관리 및 시험에 관련된 독일의 공업규격은 표 1과 같다.

표 1 콘크리트 관련 독일공업규격

규격번호	제 목
DIN 1045	콘크리트 및 철근콘크리트 : 설계 및 시공
DIN 4227	프리스트레스트 콘크리트
DIN 4219	경량 콘크리트
DIN 1084	콘크리트 및 철근 콘크리트의 품질관리
DIN 1048	콘크리트 시험방법
DIN 1164	시멘트
DIN 4226	콘크리트 골재
DIN 52171	굳지않은 모르타르와 콘크리트의 재료사용량과 배합비
DIN 4235	콘크리트 다짐

여기서는 DIN 1045를 중심으로 현장타설 콘크리트의 품질관리 전반에 관련된 사항을 살펴보고자 한다.

2.2 콘크리트의 구별 및 등급

DIN 1045에서는 압축강도를 기준으로 하여 콘크리트를 B5~B55까지의 등급으로 표 2와 같이 구분하고 있다. 압축강도는 DIN 1048에 규정된 시험방법에 따라 결정하는데, 이때 한변의 길이가 200㎜인 정육면체의 공시체를 사용하며 7일간 습윤양생 후 압축강도 시험을 수행하는 재령 28일까지 공기중에 보관한다. 압축강도 시험결과를 통계적으로 처리하여 전체의 5%에 해당하는 값을 공칭압축강도로 정한다. DIN 1045에 의한 콘크리트 공칭강도는 공시체의 모양과 크기 그리고 압축강도 시험을 수행할 때 까지의 양생조건 등이 국내의 경우와 다르므로 국내에서 일반적으로 사용하고 있는 콘크리트의 공칭강도와 직접 비교하기는 어려우나 실험에 근거한 문헌을 참조하여 국내의 경우로 환산하면 대략 표 2의 환산 σ_{ck}값과 같다. 압축강도를 기준으로 하여 여러 등급으로 구분된 콘크리트는 강도등급 B5~B25의 콘크리트 B Ⅰ과 강도등급 B35 이상의 콘크리트 B Ⅱ로 크게 묶어지어 구별하고, BI과 BII 각각에 대해서 생산 및 품질관리의 절차와 수준을 달리하고 있다. 사용기간 동안 외부 환경에 노출되는 철근콘크리트 부재에는 B25 등급 이상의 콘크리트를 사용하며, 콘크리트 B55는 공장에서 콘크리트 제품을 생산할 경우에 사용하기 위한 것이다.

표 2 DIN 1045의 콘크리트 강도등급

콘크리트 구 분	강도등급	공칭강도 (N/mm²)	평균강도 (N/mm²)	환산σ_{ck} (kg/cm²)	사용용도
B Ⅰ	B5	5	8	40	무근콘크리트
	B10	10	15	80	
	B15	15	20	120	철근콘크리트 또는 무근콘크리트
	B25	25	30	200	
B Ⅱ	B35	35	35	280	
	B45	45	50	340	
	B55	55	60	430	

2.3 콘크리트 시험소

독일의 콘크리트 시험소는 부여된 임무와 인원 및 장비와 설비의 보유 수준에 따라서 E, F, W 등의 3종류로 구분되어 있다.

2.3.1 콘크리트 시험소 E

콘크리트 B Ⅱ의 자체품질관리를 위한 지속적인 시험소이다. 현장과 밀접하게 협업할 수 있어야 하며 외부의 시험소일 경우에는 장기 계약을 맺고 시험 및 품질관리의 임무를 위탁하여야 한다. 그러나 공급자의 품질을 감시하고 있는 시험소에게 시공자의 자체품질관리를 위탁할 수는 없다. 콘크리트 시험소 E는 적합성 시험, 품질 시험, 경화 시험 등을 수행하며 이외에도 현장장비에 대한 점검 및 콘크리트의 생산, 타설, 양생에 대한 조언, 현장 시험결과의 평가 및 판정, 현장 요원들의 교육

등의 임무가 주어진다. 또한 시험소 E는 콘크리트에 대한 전문지식과 경험이 있는 콘크리트 기술자에 의해 운영되어야 한다. 콘크리트 기술자의 전문성은 인정된 전문기관에서 발급하는 증명서로 입증되어야 하는데 현재 Ausbildungsbeirat Beton에서 발급해주고 있다. 이 증명서를 발급 받기 위해서는 이를 위해 승인된 대학에서 필요한 교육을 받거나, 산업계에서 주최하는 약 4주간의 교육에 참여하여야 한다. 또한 콘크리트 시험실의 전문기술자들은 매 3년 이내에 교육을 받도록 의무화되어 있으며 교육결과를 기록하여 보관하여야 한다. 시험소 E에 대한 요구사항은 IfBt(Institut für Bautechnik, Berlin : 베를린에 있는 건설기술연구소)의 통신문에 기록되어 있다.

2.3.2 콘크리트 시험소 F

감사기관 또는 품질보호단체를 대신하여 콘크리트 BII의 품질관리를 감사할 수 있는 외부품질감사기관으로 공인받은 시험소를 말한다. 이들 시험소의 목록은 IfBt에 등록되어 있으며 IfBt의 통신문을 통해서 공표된다. 현재 구 서독지역에는 전국을 대상으로 1개의 콘크리트 품질감사기관과 2개의 품질보호단체가, 각 주에는 모두 30개의 시험소가 공인을 받아 등록되어 있다. 구 동독에서도 통일 후 DIN 1045을 적용하고 있으며, 이에 따라 여러개의 콘크리트 시험소가 공인을 받았다.

2.3.3 콘크리트 시험소 W

공시체의 압축강도 시험과 수밀성 시험을 할 수 있는 곳이다. 시험소 W가 갖추어야 할 요구조건은 IfBt의 통신문에 기록되어 있다.

2.4 현장관리

2.4.1 공사기록

인가의 의무가 있는 현장에서는 다음과 같은 사항들을 기록하고 보관하도록 명시되어 있다.

- 콘크리트의 현장반입 및 타설 등 각종 작업이 진행된 시간
- 각종 작업의 진행중 기온 및 주변환경에 대한 측정 및 기록 :

  BⅡ 콘크리트 사용시 기온이 5℃~25℃일 경우 기온 측정 및 기록 : -5℃이하 또는 +30℃ 이상인 경우 콘크리트의 생산, 타설 및 양생기간 동안의 콘크리트 온도 측정 및 기록

- 현장생산 콘크리트의 경우
  - 시멘트, 골재, 콘크리트 첨가물 등의 공급업체 이름과 송장번호
  - 콘크리트 배합, 시멘트 단위사용량, 시멘트의 종류 및 등급, 골재의 종류, 입도분포곡선, 석분, 첨가재료등의 종류와 수량, 콘크리트의 밀도 및 반죽질기,
    콘크리트 BⅡ의 경우 물-시멘트 비
- 운반콘크리트의 경우
  - 공급처의 이름과 송장의 번호, 콘크리트의 종류 표시, 운반차량 표시
  - 콘크리트가 타설된 곳의 위치
- 공시체에 대한 기록 및 구조물의 강도 시험결과

이와 같은 기록은 공사 진행중 항상 유지하여야 하며 공사완료 후 최소 5년 이상 보관하여야 한다. 모든 압축강도 시험결과와 물-시멘트 비의 검사결과는 공사가 끝난 후 감독관에게 제출하여야 하며, 또한 콘크리트 BⅡ를 사용한 경우에는 담당 외부품질감사기관에게도 제출하여야 한다.

2.4.2 인원 및 장비

콘크리트 BI를 사용하는 현장의 경우 시공자는 콘크리트의 품질관리를 위해서 골재의 입도분석(현장생산 콘크리트에 한함), 콘크리트의 반죽질기의 측정, 시멘트 사용량 점검, 공시체의 제작 및 양생·보관등이 순조롭게 이루어질 수 있도록 조처하여야 한다. 콘크리트 BⅡ의 품질관리를 위해서는 BⅠ 사용현장에서 요구되는 것 이외에도 골재의 수분함유량, 콘크리트의 배합비 및 단위중량, 공기연행제 사용시 공기함유량, 비파괴시험(DIN 1048 T4), 계량기의 점검 등에 필요한 장비와 설비를 필요한 기간 동안 보유하고 있어야 한다. 콘크리트 BⅡ를 사용하는 현장의 시공자는 적합성 시험과 품질 시험 그리고 콘크리트 BⅡ의 품질을 감시할 수 있는 모든 장비와 설비를 갖춘 콘

크리트 시험소 E을 마음대로 사용할 수 있어야 한다. 또한 콘크리트 생산에 종사하는 기간요원들은 매 3년 마다 보수교육을 받도록 의무화되어 있으며 교육결과를 기록하여 보관하여야 한다.

2.4.3 운반콘크리트

운반콘크리트 생산공장에서는 열람할 수 있도록 공급하는 모든 종류의 콘크리트에 대해서 콘크리트 종류별 목록표를 작성하여야 한다. 이 목록표에는 무근콘크리트, 철근콘크리트 또는 외부환경에 노출된 철근콘크리트 부재의 콘크리트에 대한 적합성, 콘크리트의 강도등급, 반죽질기, 시멘트의 종류, 강도등급 및 사용량, 물사용량 및 물-시멘트 비, 골재의 종류, 입도분포, 최대치수, 경우에 따라서 첨가된 석분 등의 종류와 사용량, 강도발현 등이 포함되어 있다. 이 목록은 늦어도 콘크리트가 현장에 처음 반입될 때까지 현장소장에게 전달되어야 한다. 콘크리트 운반차량의 종류, 용량, 차량번호판 등은 별도의 순번으로 정리하여 늦어도 콘크리트의 첫 운반 차량편에 현장소장에게 전달하여야 한다. 송장에는 생산공장, 외부품질감사기관 또는 품질표시, 공급날짜, 수령자 등을 표시하고 생산자로부터 위임 받은 자와 수령자가 서명하여야 하며, 이 송장은 생산자와 현장에서 각각 보관한다. 이외에도 송장에 콘크리트의 양, 강도, 반죽질기, 사용적합성과 콘크리트의 종류별 목록표의 번호, 콘크리트의 상차와 하차의 시각, 차량번호 등이 기록되어 있어야 한다.

2.5 품질관리

DIN 1045과 DIN 4219에 의한 콘크리트 BⅡ는 자체품질관리와 외부품질감사를 통해서 규격의 요구사항들이 만족되고 있음을 점검받아야 한다. 점검결과는 담당 외부품질감사기관에 관한 자료와 함께 현장 감독관에게 제출되어야 한다.

2.5.1 자체품질관리

자체품질관리는 시공자가 현장소장 책임하에 현장의 전문요원이 콘크리트 시험소 E 와 연결하여 수행한다. 콘크리트의 압축강도 시험과 수밀성 시험은 적합한 콘크리트 시험소(콘크리트 시험소 W 등)를 이용할 수 있다.

2.5.2 외부품질감사

자체품질관리는 외부품질감사기관으로 부터 최소한 1년에 2번 점검을 받아야 하며, 콘크리트 시험소 E가 DIN 1045의 요구를 만족하는 것을 확인받아야 한다. 콘크리트 BⅡ를 사용하는 현장은 최소한 한번, 공기가 긴 현장의 경우는 외부품질감사의 결과등을 고려하여 결정한 적당한 기간마다 점검을 받아야 한다. 외부품질감사는 공인을 받은 감사기관, 품질보호단체 또는 콘크리트 시험소 F에 의해 수행된다. 이들 공인받는 기관, 단체, 시험소 등은 IfBt(건설연구소)에 등록되어 있다. 시공자는 다음과 같은 사항을 외부품질감사기관에 서면으로 통보해야 한다.

- 콘크리트시험소 E와 시험소 소장에 대한 자료
- 콘크리트 시험소 E의 소장 변경사항
- 콘크리트 BⅡ 사용중인 현장과 현장소장에 대한 자료
- 현장소장의 변경사항
- 사용이 예상되는 콘크리트의 종류, 특수한 성능 등
- 콘크리트 사용량
- 예상 콘크리트 작업 일정
- 4주일 이상의 콘크리트 작업중단
- 4주일 이상 작업 중단 후 콘크리트 작업 재개

외부품질감사기관은 현장기록, 자체품질관리를 위한 시험결과의 기록, 승인된 설계도서, 자재의 사용허가증, 시험증명서 등을 조사한다. 또한 재료의 보관상태, 장비의 상태및 기능, 굳지않은 콘크리트의 성질, 굳지않은 콘크리트의 성질검사를 위한 시험체의 제작, 구조물의 콘크리트 강도, DIN 1045 규정에 따른 전문요원의 확보 및 정기적인 교육 실시 유무, 콘크리트의 운반, 타설 및 양생을 위한 조치 등을 점검한다. 시료를 채취한 경우 시공자와 현장, 재료, 시료의 번호, 장소, 날짜 등을 기록하고 현장소장 혹은 현장소장 대리인과 점검자가 서명하여야 한다. 외부품질감사의 결과는 품질감사보고서로 작성하여 보관한다. 이 보고서에는 최소한 다음과 같은 사항을 포함하도록

되어있다.

- 시공자, 현장, 콘크리트 시험소 E
- 재료, 콘크리트 강도등급, 특수한 성능, 경량 콘크리트의 경우 단위중량등급
- 시료 채취에 대한 기록
- 점검결과
- 요구사항과 자체품관리의 결과 비교
- 총평
- 날짜, 장소
- 외부품질감사기관의 서명과 날인

이 보고서는 현장과 외래품질감사기관에서 보관하며, 감독청의 요구가 있을 때에는 제출하여야 한다. 콘크리트 BⅡ를 생산 또는 사용하고 규정에 따라 감사를 받는 현장은 눈에 잘 띄는 곳에 이것을 명시하여야 하며 운반콘크리트 생산공장의 경우에는 콘크리트 송장에 표시하도록 되어 있다.

2.6 줄임말

이상으로 독일에서 적용하고 있는 콘크리트 생산 및 사용에 있어서의 품질에 관련된 것들을 살펴보았다. 어느 나라의 규준이건 내용은 거의 비슷하다고 생각된다. 품질관리에 있어서 서로 크게 다른 것이 있다면 규준의 내용이 지켜지는 정도일 것이다. 콘크리트의 품질확보는 명문화된 규격이나 규준으로만 이루어질 수 없음은 명확하다. 가장 중요한 것은 현장에서 일하는 사람들의 품질확보에 대한 관심과 노력임은 두말할 필요가 없다.

끝으로 유럽시장이 단일화됨에 따른 콘크리트에 관한 유럽규격의 도입을 간략히 소개하고자 한다. 오랜 동안의 준비기간을 거쳐 만들어진 콘크리트 시방서 Eurocode 2가 91년 부터 유럽 임시규격 ENV 1992-1-1로 채택되어서 92년부터 95년까지 시험적용기간을 거치고 있다. 독일의 철근콘크리트 위원회(DAfStb)에서는 ENV 1992-1-1의 무리없는 시험적용을 위해 지침서를 제정하여 공표하였으며, 3년간의 시험적용기간이 지나면 회원국간의 의견 조정을 거쳐 유럽규격으로 승격될 전망이다. 시험적용기간에는 각국의 규격과 유럽임시규격을 병용할 수 있도록 되어있으나, Eurocode 2가 정식 유럽규격으로 승인을 받으면 유럽공동체 회원국 내에서는 Eurocode 2만 적용하게 된다. 이렇게 되면 유럽공동체 회원국의 콘크리트 생산 및 품질관리등에 관한 사항은 유럽임시규격인 ENV 206를 적용하게 된다.

3. 일본의 콘크리트 품질관리

3.1 개요

구조물에는 많은 종류의 재료가 사용되고 있으나 기술자가 작업현장에서 직접 제조할 수 있는 것은 거의 콘크리트 뿐이라고 말할 수 있다. 그래서 예로부터 콘크리트 공사에 대하여 많은 투자와 연구를 거듭한 결과, 콘크리트 공사가 예전보다 공학적으로 대량 제조, 생산할 수 있는 기술수준까지 도달하였다고 보고 있다. 그러나 근자에 이르러 콘크리트 구조물이 단기간에 대량으로 축조됨에 따라 콘크리트 구조물의 품질이 저하되었다는 우려의 목소리가 나오고 있는 것도 사실이다. 그래서 본고에서는 현장에서 콘크리트 구조물을 축조하는데 필요한 품질기준 및 관리현황에 대하여 다음과 같이 기술한다.

3.2 콘크리트에 관련한 품질관리

콘크리트 구조물을 제조하는 공정은 아주 복잡하고 다양하다. 그래서 RC시방서, JASS5, JISA5308(레디믹스트 콘크리트)에서는 지금까지의 품질관리 실적을 토대로 다음과 같이 관리하고 있다.

3.2.1 RC시방서의 규정

RC시방서에서는 소요품질을 갖춘 철근콘크리트를 경제적으로 생산한다는 관점에서 "사용재료, 기계설비, 작업 등"을 관리하도록 규정하고 있다. 이때문에 사용재료의 관리, 기계설비의 정비·관리, 철근가공, 조립, 재료계량, 비빔, 운반, 타설, 양생등에 대해 언급하고 있으며, 동시에 공사개시 전부터 종료후까지 다음의 시험종류를 규정하고 있다.

(1) 골재시험
(2) 슬럼프 시험
(3) 공기량 시험
(4) 콘크리트의 단위용적중량 시험
(5) 콘크리트의 압축강도 시험
(6) 기타시험

3.2.2 JASS5의 규정

일반적인 건축공사에서는 콘크리트 제조에서 타설직전까지의 콘크리트 품질관리 방법에 대해 표 3과 같이 규정하고 있다.

콘크리트 제조시에 있어서 콘크리트의 품질은 레디믹스트 콘크리트의 경우 JISA5308 에서 정한 방법에 의해 관리한다. 구입자는 필요에 따라 제조자에게 품질관리 시험결과를 제출하게 해서 그 결과를 확인할 수 있다.

현장비빔 콘크리트에 대해서도 레디믹스트 콘크리트와 동일한 정도의 품질을 확보할 수 있도록 저장, 계량, 비빔, 운반 등에 대해 규정하고 있다.

표 3 JASS5에 의한 콘크리트 품질관리 방법

품질규정	실시자	장소	시기	품질관리·검사방법
제조시에 있어서 콘크리트 품질(품질관리)	레디믹스트 콘크리트의 경우 생산자	레디믹스트 콘크리트 공장	콘크리트 비빔시 또는 출하시	• JISA 5308「레디믹스트 콘크리트」에 의함
	공사현장 비빔 콘크리트의 경우 생산자	공사현장 비빔콘크리트의 제조 플랜트	콘크리트 비빔시	• JASS5(품질관리) • JASS5T-602(공사현장 비빔콘크리트의 배합강도의 판정시험 방법)
부림시의 콘크리트 품질(품질관리 및 품질검사)	생산자 및 시공업자	부림지점	부림시	• JISA 5308「레디믹스트 콘크리트」 • JASS5 5.5.10「부림시험에 있어서 레디믹스트 콘크리트의 품질검사」 • 공사현장 비빔콘크리트에서는 JISA 5308에 준함
공사현장내에 있어서 운반에서 타설까지의 품질	시공업자	부림지와 타설장소	공사현장내에 있어서 운반개시때와 타설직전	• JASS5 5.6.4「운반에서 타설까지의 품질」
타설직전에 있어서 콘크리트의 품질	시공업자	타설장소	타설직전	• JASS5 5.5.11「타설직전의 콘크리트 품질검사」 • JASS5T-603「구조체 콘크리트의 강도추정을 위한 압축강도 시험」

3.3 콘크리트 생산에 관련한 품질관리

3.3.1 운반

콘크리트 운반차는 트럭믹서 또는 트럭 애지데이터를 사용하고 운반차에서 비빈콘크리트는 균일하고 재료분리가 없어야 하며 쉽게 배출할 수 있어야 한다. 콘크리트의 1/4과 3/4의 부분에서 시료를 채취하여 슬럼프시험을 하였을 경우 양쪽의 슬럼프 차가 3cm이내이어야 한다.

비빔개시부터 타설종료까지의 시간이 길어지게 되면 일반적으로 워커빌리티의 저하를 가져오며 타설이 어렵게 된다. 그래서 일정한 시간 이내에 타설을 종료하여야 한다. 레디믹스트 콘크리트에 대한 운반시간의 한도를 JASS5에서는 표 4와 같이 규정하고 있다.

표 4 운반시간의 한도

온 도	시 간
외기온도 25℃미만	120분
외기온도 25℃이상	90분

표에서 알수 있는바와 같이 고온, 건조한 경우에는 그 한도가 짧게 정해져 있다. 콘크리트 타설계획이 정하여지면 사전에 콘크리트의 반입일시, 종류, 수량, 타설속도, 검사방법 등을 제조자에게 알려주고 플랜트의 형편을 고려하여 배치계획을 세우도록 한다.

펌프차로 콘크리트를 타설할 경우에는 그 능력을 충분히 검토해 둘 필요가 있다. 콘크리트를 현장으로 반입한 후에는 타설종료시까지 콘크리트의 품질이 변화되지 않도록 신속하게 운반할 필요가 있다.

이때 현장내의 운반방법으로는 표 5와 같은 것을 제시하고 있다.

표 5 콘크리트 운반용 기계

운반기계	운반방향	운반거리 (m)	표 준 운반량	용 도	슬럼프 (cm)	비 고
콘크리트 운반차	수평	~30Km	1.0~4.5 (㎥/h)	원거리 운반	6~21	공장-현장간
콘크리트 펌프	수평 수직	~500 ~120	20~70 (㎥/h)	일반, 장거리·고소	8~21	된비빔, 묽은비빔 콘크리트
콘크리트 버켓	수직 수평	10~30	15~20 (㎥/h)	일반·현장내 운반	8~20	된비빔콘크리트
콘크리트 타워	수직	20~120	15~25 (㎥/h)	고소운반	10~21	
손수레	수평	10~60	0.05~0.1 (㎥/h)	소규모 공사	12~21	
벨트콘베어	수평이나 구배	5~100	5~20 (㎥/h)	된비빔용	5~15	분리경향 있음
슈 트	수직 경사	5~20	10~50 (㎥/h)	SRC용	12~20	분리경향 있음

운반시간이 길어지면 콘크리트가 굳어지기 시작하여 서서히 그 품질이 변화되기 시작한다. 특히 기온이 높은 시기에 그 변화가 크게 된다.

그러나 굳지않은 콘크리트의 품질변화가 바로 경화후의 품질저하를 가져오지 않으므로 펌프압송전후의 콘크리트 품질저하의 한도를 표 6과 같이 규정하고 있다.

표 6 콘크리트 품질저하의 한도

품질 \ 콘크리트	보통콘크리트
슬럼프의 차이(cm)	2.0
공기량의 차이(%)	1.0

3.3.2 타설, 다짐

콘크리트 공사에서 고려하여야 할 것은 구조물에 요구되는 강도, 내구성, 수밀성 등의 품질을 만족하며 균질한 콘크리트를 경제적으로 시공하는 것이다. 콘크리트는 비중과 크기가 다른 입자를 물과 혼합한 것이므로 분리되지 않도록 타설하고 다짐하는 것이 중요하다. 타설은 균질하고 밀실한 콘크리트를 얻을 수 있도록 타설개소, 배근상태, 콘크리트 품질을 고려하여 충분히 다짐할 수 있는 인원을 배치하고 타설방법, 기계기구를 준비하여야 한다. 콘크리트 타설방법은 대체로 다음과 같은 것을 들고 있다.

(1) 수직으로 부어넣는다.

(2) 낮은 위치에서 부어넣는다.

(3) 균등한 두께로 수평으로 부어넣는다.

(4) 각층의 표면을 평평하게하고 진동기로 다짐한 후에 다음층에 부어넣는다.

특히 철골철근 콘크리트 보의 경우에는 보의 좌우에서 타설하는 방법 등으로 타설하여 철골밑에 공극이 생기지 않게 하고 있다.

JASS5의 콘크리트의 타설속도는 워커빌리티, 거푸집 형상, 부재단면치수, 배근상태, 작업환경 등 시공조건에 따라 달라질 수 있겠으나 다짐작업을 충분히 할수있는 범위로 하고 있다. 콘크리트 펌프를 사용하여 슬럼프 18cm인 콘크리트를 시간당 20~30㎥정도 타설하는 것을 목표로 하고 있다. 콘크리트는 타설구획내에서 콜드조인트가 생기지 않도록 다짐을 충분히 하고 연속적으로 타설하도록 되어 있다.

JASS5에서는 콘크리트 이어치기 시간의 한도는 외기온도가 25℃미만의 경우에는 150분, 외기온도가 25℃이상의 경우에는 120분으로 규정하고 있다.

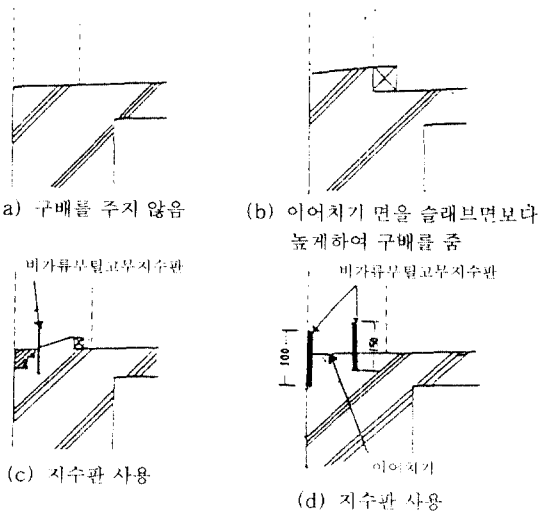
콘크리트 이어치기는 보, 바닥슬래브 및 지붕슬래브에서는 전단응력이 작은 중앙부근에서 시공하도록 규정하고 있다. 또한 기둥 및 벽에 있어서는 바닥슬래브나 기초의 상단, 또는 보의 하단에서 하도록 정하고 있다.

그림 1에서 (a)와 같은 방법은 외벽주위로부터의 방수로 인하여 권장할 수 없고 (c),(d)는 벽체 두께가 얇거나 층고가 높은 경우, 또는 배근상태에 따라 지수판이 콘크리트에 대해 손상을 줄 우려가 있다. 그러므로 일반적으로는 그림 1의 (b)와 같은 방법이 간편하다고 서술하고 있다.

콘크리트 타설속도는 다짐능력을 기준으로 정하였음을 앞에서 전술하였다. 다짐능력은 일반적으로 차이가 있을 수 있지만 슬럼프 10~15cm 콘크리트의 경우 공칭봉경 45mm의 봉형진동기 1대당 10~15m^3/hr정도를 목표로 하고 있다. 공칭봉경 45mm의 봉형진동기는 진동봉의 길이가 600~800mm로 되어 있기 때문에 1층의 타설 높이는 그 이하로 하여야 한다. 삽입간격은 공칭봉경 45mm를 기준으로 하여 60cm로 하고 있다. 진동기의 가

진시간은 부재두께, 형상, 거푸집 강성, 타설방법 등에 따라 다르지만 슬래브 18cm정도의 경우는 1~3분을 목표로 하고 있다

봉형진동기에 의한 다짐의 영향범위를 표 7에 나타내고 있다.



(a) 구배를 주지 않음 (b) 이어치기 면을 슬래브면보다 높게하여 구배를 줌

(c) 지수판 사용 (d) 지수판 사용

그림 1 외벽의 수평이어치기 예

표 7 다짐의 영향범위

분류	진동수			보통콘크리트			인공경량콘크리트		
	봉경 (mm)	진동수 (rpm)	진폭 (mm)	슬럼프(cm)			슬럼프(cm)		
				15	10	5	15	10	5
소형	38	8000	2~3	15	12	10	20	15	10
대형	60	8000	1.8~2.0	25	20	17	30	25	20
	60	12000	0.2~1.5	50	35	22	60	60	40

3.3.3 양생 및 마무리

콘크리트 타설후에는 저온, 건조, 급격한 온도 변화로 인해 생기는 유해한 영향에 대하여 주의하여야하고, 콘크리트가 경화될 때에는 진동, 충격 및 하중을 가하지 않아야 한다.

콘크리트 양생은 전술한 조건으로부터 콘크리트를 보호하기 위한 조치이며, 양생방법을 목적별로 분류하면 다음과 같다.

(1) 습윤양생
(2) 보온양생
(3) 피막양생
(4) 진동, 충격, 재하를 방지하는 수단

JASS5 및 RC시방서에 규정되어 있는 양생조건을 요약하면 표 8과 같다.

표 8 양생의 규정

시방서	구조물 구분	계절 구분	유해작용	양생방법	양생일수 및 양생온도
JASS5 및 RC시방서	일반	상시	• 건조, 일광, 한기, 충격 • 24시간 이내 충격금지	• 살수 및 이외 방법으로 습윤	• 5일간 콘크리트 온도를 2℃ 이상 유지 • 단 조강포틀랜드 시멘트는 3일간
		한중	• 동해	• 보온양생및 급열 양생	• 초기양생은 압축강도가 50kg/cm²에 달할 때까지 • 이후의 양생은 소요의 강도가 확보되었음을 확인할때까지
		서중	• 급격한 건조	• 습윤유지 • 시트로 덮음 • 피막양생제 사용 • 부득이의 콘크리트 온도는 35℃ 이하	• 타설후 24시간 동안 습윤 상태 유지 • 이후는 습윤양생 또는 피막양생

JASS5에서 공사현장 비빔콘크리트의 배합강도의 관리시험방법에 따르면 제작한 시험체는 20±3℃의 수중에서 표준양생하도록 규정하고 있다.

그리고 구조체 콘크리트의 강도 추정을 위해서는 제작한 시험체를 표준양생하지 않고, 구조체의 콘크리트 온도에 가장 가까운 수중양생이나 봉함양생을 하도록 규정하고 있다. 또한 한중 콘크리트의 경우에는 밀봉양생으로 하고, 매스콘크리트의 경우에는 표준양생을 하도록 규정하고 있다.

3.4 끝으로

이상에서 서술한 바와 같이 콘크리트를 생산할 시 품질에 영향을 주는 요인은 수없이 많다. 이에 따라 콘크리트 품질을 관리할 경우에는 각 요인이 완성된 콘크리트에 어느정도의 영향을 주는지 알 필요가 있다. 아울러 콘크리트에 대한 전문적인

지식을 갖춘 기사가 현장을 관리할 수 있도록 하여 보다 좋은 콘크리트 구조물을 축조할 수 있게 되었으면 하는 마음이다.

4. 콘크리트 품질의 근간이 되는 미국 콘크리트시험사 제도

이 기사에서는 미국의 현장콘크리트 품질관리 제도가 우리나라의 제도와 유사하므로 간략하게 현장 콘크리트 품질시험에 대하여 알아보고 주로, 미국의 콘크리트시험사 제도에 관하여 기술하고자 한다.

4.1 현장 콘크리트의 품질 시험

현장콘크리트의 시험은 충분히 교육, 훈련받은 시험사만이 수행하도록 규정하고 있다. 시험사는 생콘크리트(fresh concrete)의 기본적인 성질과 시험수행법을 숙지하여야 한다. 콘크리트시험사(ACI Certification of Concrete Field Testing Technician Grade I)가 이 조건을 만족하는 것으로 규정하고 있다.

콘크리트 시험사는 매 100 yd^3(76 m^3) 당 또는 하루 한번 일련의 시험(슬럼프, 공기량, 단위중량, 온도, 압축강도시험편 제작) 을 수행하도록 되어 있다. 이들 시험법은 물론 규격으로 상세히 규정하고 있다. 예컨데, 압축강도시험 공시체는 초기 16-48 시간동안 16-27℃ 온도 범위에서 보습하여 양생을 하도록하고 그후 시험 때까지 23±1.7℃ 범위에서 수중 양생 하도록 한다. 7일 재령에서 2 개의 공시체를 시험하고 28일 재령에서 2 개의 강도 시험을 수행하여 평균값으로 평가한다.

콘크리트시험사는 최종 압축강도 결과와 기타 관련된 품질시험 결과를 포함하는 그날의 시험결과와 관찰된 내용을 감독 보고서로서 제출하여야 한다.

콘크리트 품질 시험보고서는 다음을 포함하여야 한다.

> 공사명
> 건축주
> 콘크리트 공급자
> 시료 채취 일자
> 시료 채취자(콘크리트 시험사 자격번호)
> 트럭번호 또는 티켓번호
> 타설 시간, 시료채취 시간
> 대기온도, 콘크리트 시료 온도
> 슬럼프치, 공기량
> 28일 압축강도
> 콘크리트 배합표
> 타설위치, 시험배합수행지
> 압축강도 시험 결과, 시험일자, 재령
> 기타 콘크리트 품질에 영향을 줄 수 있는 사항 :

현장에서의 가수량, 믹스에서 부터 타설까지 걸린 시간,

기타 양생조건 등.

4.2 미국 콘크리트시험사 제도(ACI Certification of Concrete Field Testing Technician)

4.2.1 미국 콘크리트시험사 제도의 목적과 의미

콘크리트시험사에 의한 현장에서의 적법한 시험은 시공 정밀도를 높히고 콘크리트의 우수한 품질을 확보하게 한다. 만일 사고나 분쟁이 발생하였을 경우, 기록된 시험자료가 완벽하고 정확할 때, 그 자료는 특히 중요하게 된다.

미국에서의 콘크리트시험사 제도는 미국내 뿐만이 아니라 국제적으로도 공인 받고 있다. 건설현장에서 콘크리트시험사의 운용으로 프로젝트 수행의 우선권을 얻고, 신뢰성을 높힌다. 건설공사 시방서에서 콘크리트시험사 운용에 대하여 명시하고 있으며 연방, 주, 또는 지방에 따라 콘크리트시험사 운용을 의무조항으로 하고있다.

4.2.2 미국 콘크리트시험사 프로그램

콘크리트시험사 자격을 획득하기 위하여서는 필기시험과 실기시험에 모두 합격하여야 한다. 이 시험을 보기 위해서 선수과목이나 경력, 교육에 관한 의무 조항은 전혀 없다. 그러나, 시험을 대비하여 지역에 따라서는 강습(강의와 실습을 포함하여 16시간)을 시행하고 있다. 보통 대학의 교과과정중에서 교육하면서 시험을 시행하여 많은 토목

학과 4년생이 대학에서 용이하게 자격을 취득하게 된다.

이 프로그램은 지역별 ACI Chapter, 주별 콘크리트협회, 대학, 그외 콘크리트 관련기구가 있어 스스로 책임하에서 강습과 시험을 기획하고, 시설, 재료, 감독자를 선정하고, 등록비, 비용을 회계처리 하며, 다만 ACI 본부에서는 시험지 공급, 채점, 기록보존, 합격증 부여 등의 업무를 수행한다.

4.2.3 필기 시험

필기시험은 7개 ASTM 규격(C31, C138, C143, C172, C173, C231, C1064)에 대한 숙지정도를 시험하며 1 시간으로 한다. 규격 시험법에 관한 기본적인 문항과 실제 현장에서 생길 수 있는 문제가 출제된다. 7개 규격에 대하여 각 8개 문항으로 총 56개 문항으로 대부분 객관식이며 소수의 주관식도 포함된다. 7개 규격에서 최소한 60% 이상(8 문항중 5 이상) 맞아야 하며 동시에 전체로 70 % 이상(56 문항중 40 문항) 맞아야 합격이 된다.

시험에 실패 하였을 때, 재 시험은 어느 때나 가능 하며 이때 실기시험은 1 년간 유효하다. 재시험은 전 항목을 다시 다 보아야 한다.

필기시험은 7개 ASTM 규격은 다음과 같다.

C31 "Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field"

C138 "Unit Weight, Yield, and Air Content(Gravimetric) of Concrete"

C143 "Slump of Portland Cement Concrete"

C172 "Sampling Freshly Mixed Concrete"

C173, "Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Volumetric Method"

C231 "Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method"

C1064 "Temperature of Freshly Mixed Concrete"

4.2.4 실기시험

필자는 미국 유학중에 이 콘크리트시험사 실기시험을 직접 경험하였다. 이 시험은 실시 과정이 독특하여 인상적이었다. 토목공학과 학부 4년 과정에서 구조재료과목을 이수하는 중에 학생들이 콘크리트 관련 실험을 대부분 익히게 될 즈음에, 하루를 잡아서 이 콘크리트시험사 실기시험을 실시한다. 넓은 실험실에 칸막이를 쳐 두고 개별적으로 ASTM 의 7개 과정을 준비하여 두고 각 학생은 돌아가면서 시험을 치르게 된다.

시험 감독관(주로 대학원생) 앞에서 직접 수험자는 슬럼프 측정, 공기량 측정, 공시체 제작, 온도측정, 단위중량 측정을 수행하거나, 시료채취과정을 묻는 구두시험을 보게 된다. 수험자는 규격의 과정을 정확하게 수행하기만 하면 되며 감독자는 이미 정해진 시험 체크리스트와 비교하여 하나라도 틀리면 불합격으로 기록한다. 7개 시험 종목을 다 돌아 합격/불합격 최종 판정을 받게 된다. 실기시험에서 감독자와 수험자는 일체 대화를 나눌 수 없다. 시험중에 수험자는 도움, 조언, 질문을 일체 못하게 되어 있다. 대신에 체크리스트에 불합격 항목이 구체적으로 표시되어 잘못한 부분을 수험생은 그 자리에서 즉시 알고 시정할 수 있다.

한번 시험에서 2회 응시할 수 있어 같은 날에 첫 회에 불합격한 수험생은 다시 한번 더 시험 볼 수 있으며 미국의 시험이 대개 그렇듯이 2 차에서는 대부분 합격한다. 재시험에서는 7 항목중에서 3 문항 이하가 실패한 경우, 실패한 항목만 시험 보게 된다.

다음 표는 감독관이 시험시에 작성하는 슬럼프 시험용 체크리스트이며 시험내용이 극히 구체적이고 상세함을 엿볼 수 있다.

현장 콘크리트 시험사(1급)

실기시험 체크리스트
ASTM C 143 포틀랜드시멘트
콘크리트 슬럼프 시험

수험자 : 수험번호 :

(일차)(이차)

1) 슬럼프콘과 바닥을 물로 축인다
(규격 5.1절)

(일차)(이차)

2) 두 발판을 밟아 슬럼프콘을 견고하게 하여 콘크리트를 채울 때, 어느 방향으로든지 흔들리지 않게한다.(규격5.1절) ——— ———

3) 대표적인 시료를 취하여 슬럼프콘에 넣는다.(규격 5.1절) ——— ———

4) 슬럼프 콘을 부피로 약 3 등분하여 넣는다 : 첫번째 바닥에서 7 cm, 두번째는 16 cm, 세번째는 2 상단 약간 위까지 채운다.(규격 5.1, 5.2, 5.3절) ——— ———

5) 다짐봉으로 각 층을 그 단면에 대하여 균등하게 25 회 다진다.(규격 5.3절) ——— ———

6) 두번째와 세번째 층에 대해 다짐을 할 때 그 아래층을 약간 관통하도록 하여 다진다.(규격 5.3절) ——— ———

7) 최상부 층을 다질 때, 상부에 콘크리트를 다소 두고 다진다.(규격 5.3절) ——— ———

8) 콘의 상부를 고를 때, 다짐봉으로 깍아낸다.(규격 5.3절) ——— ———

9) 콘을 부드럽게 뒤틀지 말고 한 동작으로 5±2 초내에 벗겨낸다.(규격 5.3절) ——— ———

10) 콘의 상단에서 부터 시료의 중심상부까지의 거리를 1/4인치 단위까지 측정한다.(규격 5.3절) ——— ———

11) 이 시험을 2분 30초 내에 수행한다.(규격 5.3절) ——— ———

	결과	합격 불합격	합격 불합격
시험관 (일차)	서명		날짜
시험관 (이차)	서명		날짜

책임시험관 _____ _____

서명 날짜

5. 줄임말

콘크리트에 대한 현장에서의 시험 목적은 기본적으로 품질에 대한 공학적 검사 및 측정이다. 콘크리트의 기본적인 품질을 나타내는 수치가 현장에서 측정되어 원래의 배합설계시의 의도와 합치되는지를 확인하고 만일의 문제점이 발생하였을 때 적절한 조처를 가능하게 한다. 현장콘크리트 시험의 또다른 중요한 목적의 하나는 이러한 제반 과정을 통하여 생산자, 기술자, 기능공에 이르기까지 관계자의 품질에 대한 인식을 높히는 것으로, 이로 인하여 자연스럽게 품질이 확보될 수 있다.

현장 시험을 통한 품질관리는 기술개발에 연결된다. 품질관리 과정에서 새로운 기술이 창출됨은 물론이거니와 품질에 관한 현장관리가 확보되어야만 새로운 기술의 적용이 가능하다. 건축물의 고급화와 대형화에 상반되어 건설자재의 부족으로 기술개발과 자재활용에 대한 연구가 요구되는 차제에 품질관리의 뒷받침이 절실하다.

이 기사에서 밝혔듯이 독일의 콘크리트 시험소 제도나 미국의 콘크리트시험사 제도가 콘크리트 품질 확보의 근간이 되고 있음을 이해할 수 있겠다. 콘크리트 품질에서의 한계를 극복하지 못하는 우리 건설계에 현행 품질관리의 법령의 차원을 넘는 콘크리트시험사 제도가 추진되어야 할 것으로 사료된다. 대학과정에서 콘크리트에 관한 제반 시험법을 배운 후 자격증을 획득하는 과정에서의 작은 노력은, 그것이 비록 대단하지는 않더라도, 현장에서의 콘크리트시험에 대한 인식을 크게 달라지게 할 수 있을 것이다. 이러한 콘크리트 시험사 제도는 근본적으로 부실공사를 방지하고, 구조물의 안전을 확보하며 한정된 우리나라 건설 재료의 활용차원에서 우리학회가 적극 수용하기를 제언한다.