

통계적 검증을 통한 포장콘크리트의 품질검사 로트 크기에 대한 검토

An Examination for Quality Inspection LOT size of Concrete Pavement on Statistical Verification

김진철* · 김홍삼** · 안태호*** · 주종립**** · 이경하***** · 강민수*****

Kim, Jin Cheol · Kim, Hong Sam · Ahn, Tae Ho · Joo, Jong Lim · Lee, Kyung Ha · Kang, Min Soo

1. 서 론

배치플랜트에서 생산된 콘크리트 품질 적정성은 현장 도착된 콘크리트의 슬럼프, 공기량 및 강도에 대하여 설계시 기준값의 허용범위내로 규정하고 있다. 콘크리트 시공과정에서 품질 적정성 판정은 발취검사(sampling)를 통하여 이루어지며 발취검사 시험값이 전체 시공물량의 결과를 대표할 수 있도록 통계적 관점에서 시험횟수 및 검사방법에 대한 기준을 두고 있다. 구조물 콘크리트의 경우 콘크리트 표준시방서 및 KS F 4009(레디믹스트 콘크리트)에서 적정 로트의 크기는 각각 100 및 150m³마다 1회의 시험을 실시하도록 규정하고 있으나 포장콘크리트의 경우 구조물 콘크리트 비하여 상대적으로 설계기준강도의 중요성이 낮아 로트의 크기가 없거나 시공특성에 관계없이 1일 2회 정도의 불명확한 기준을 두고 있는 실정이다.

본 연구에서는 우리나라 콘크리트 포장 시공특성을 고려하여 현장 품질시험 및 검증시험결과를 통계적으로 검증하여 포장콘크리트 강도시험에 대한 합리적 로트기준을 제안하는데 그 목적이 있다.

2. 콘크리트에 대한 국내 · 외 품질검사 로트기준에 대한 검토

2.1 국내 품질검사 기준

표 1은 콘크리트에 대한 품질검사 로트 크기에 대한 국내 시방규정이다. 일반 구조물용의 경우 300 또는 450m³를 1로트로 정하고 100 또는 150m³마다 1회(공시체 3개 평균) 시험을 실시하도록 규정되어 있다. 그러나 포장콘크리트의 경우 1일 2회 정도로 불명확하게 제시되어 유지보수공사와 같이 1일 시공량이 적은 경우 로트의 크기가 과다하고 신규 포장공사와 같이 시공량이 많은 경우 로트의 크기가 작아지는 문제가 있다.

표 1. 콘크리트 품질검사 로트에 대한 국내 규정

기준명	생산자 위험율에 대한 규정	품질검사 로트기준
콘크리트 표준시방서	<ul style="list-style-type: none"> ○ 3회 시험값의 평균이 fck 이하일 확률 : 1% ○ 1회 시험값이 (fck-3.5MPa) 이하일 확률 : 1% 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 1회/일 또는 ○ 300m³을 1로트로 하여 ○ 100m³마다 1회 제작
KS F 4009 (레디믹스트 콘크리트)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 3회 시험값의 평균이 fck 이하일 확률 : 0.13% ○ 1회 시험값이 0.85fck 이하일 확률 : 0.13% 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 450m³을 1로트로 하여 ○ 150m³마다 1회 제작
도로포장 설계 · 시공지침	<ul style="list-style-type: none"> ○ 평균 휨강도가 0.58fbk 이하일 확률 : 3.3% ○ 평균 휨강도가 fbk 이하일 확률 : 20% 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 2회/일

* 정희원 · 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원 · 공학박사(E-mail:jckim@ex.co.kr)
 ** 정희원 · 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원 · 공학박사(E-mail:hskim68@ex.co.kr)
 *** 정희원 · 한국도로공사 도로교통연구원 연구원 · 공학석사(E-mail:ath810801@nate.com)
 **** 한국도로공사 남원전주 사업단 품질환경팀 차장 · 공학석사(E-mail:jjl0416@ex.co.kr)
 ***** 정희원 · 한국도로공사 도로교통연구원 차장 · 공학박사(E-mail:khlee@ex.co.kr)
 ***** 정희원 · 한국도로공사 도로교통연구원 연구원 · 공학석사(E-mail:minsu92@ex.co.kr)



2.2 국외 품질검사 기준

표 2는 포장콘크리트 품질검사 로트크기에 대한 미국 DOT 규정을 나타내고 있다. 미국의 경우 콘크리트 포장체의 설계기준강도에 대하여 일반적으로 사용되는 휨강도대신에 압축강도를 사용하는 경우도 많이 있으며, 품질검사 로트의 크기에 대한 규정에 대해서도 주정부별로 콘크리트 포장의 시공특성을 반영하여 큰 차이를 나타내고 있다. 또한 품질관리기준으로서 강도가 기준값에 미달하는 경우 pay factor에 따라 공사비를 삭감하도록 하는 조치를 취하고 있다.

표 2. 미국 DOT별 포장콘크리트 품질검사 로트의 크기

구 분	설계기준강도(MPa) ¹⁾	검사로트의 크기(m ²) ²⁾
Kansas ³⁾	27(-)	112(c)
Illinois	24(4.5)	956(c)
Iowa	-	765(f)
New Jersey	25(-)	5회/일(c)
North Carolina	- (4.5)	시공자 필요시(c)
Oregon	24(4.1)	-
Pennsylvania ³⁾	24(-)	380(c)
Texas ³⁾	30(4.7)	300(f ₇)
Wisconsin	-	380(c)

주 1) ()는 설계기준 휨강도

2) ()은 강도시험방법 c : 코어압축강도, f : 휨강도

3) 면적으로 규정된 로트의 크기를 부피로 환산

일본의 경우 콘크리트의 용도와 관계없이 1회/일 또는 중요도와 공사 규모에 따라서 20~150m² 마다 1회의 시험을 실시도록 품질검사 로트의 크기를 정하고 있다.

2.3 국내 품질검사 기준의 문제점

품질검사를 통하여 품질의 합부 판정을 위하여 생산자의 위험율과 소비자의 위험율을 규정하고 있다. 여기서 생산자의 위험율이란 발체검사(샘플링 검사)를 통하여 얻은 결과가 합격으로 해야 할 좋은 품질의 로트가 불합격으로 판정될 확률로서 정의되며, 공산품의 경우 통상적으로 5%로 규정하고 있다.

표 1에서와 같이 구조물용 콘크리트의 경우 생산자 위험율은 1%이며, 포장콘크리트의 경우 생산자 위험율이 20%로 매우 높은 것을 알 수 있다. 이와같이 콘크리트 용도에 따라 생산자 위험율이 큰 차이가 나는 것은 구조물 설계의 경우 하중에 대해 저항할 수 있도록 설계하는 것에 대하여 포장콘크리트는 포장체가 공용 중 받는 피로도를 우선적으로 고려하여 설계하기 때문이다.

또한 포장 콘크리트의 시공특성을 고찰해 보면 구조물용 콘크리트와 달리 신규공사의 경우 1일 800~1,000 m² 정도의 콘크리트가 약 7~10일 정도 연속적으로 타설되며, 품질검사를 위한 강도시험용 공시체 규격에 있어서도 구조물용 콘크리트는 Φ100×200mm 원주형 공시체를 사용하는 반면, 포장콘크리트의 경우 150×150×550 mm의 휨강도용 공시체를 사용하여 질량차이가 약 8배의 증량물을 시험해야 하는 번거로움이 있다.

따라서 포장콘크리트 시공시 구조물용 콘크리트의 품질검사를 적용한다면 1일 10회(휨 몰드 30개), 연속공정 7일에 대하여 때 70회(휨몰드 210개)의 품질검사가 수행되어야 하는 문제점이 있다.

3. 품질검사 로트 크기에 대한 검토

3.1 현장 콘크리트 품질현황

현장에서 생산되는 포장콘크리트의 휨강도 특성 및 측정값의 통계적 유의성을 평가하기 위하여 2일간 현장 생산된 약 1,800m²의 콘크리트에 대하여 총 29회의 휨강도시험(공시체 87개)을 실시하였다. 또한 1997년 8월부터 2000년 8월까지 한국도로공사 10개 사업단 47개 공구에서 시행된 포장콘크리트의 현장시험실 휨강도 측정결과도 분석하였으며, 그 결과를 정리한 것이 표 3이다.

표 3. 현장 콘크리트 휨강도 통계분석결과

구분	시료수 (회)	평균 휨강도 (MPa)	표준편차 (MPa)	표준오차	변동계수 (%)	불합격율 (%)
현장 시험결과	29	6.00	0.35	0.066	5.89	0.00
시험실 결과	6,376	5.92	0.37	0.005	6.25	0.02

먼저 2일간 현장에서 측정된 총 29회 휨강도 시험에 대한 통계분석 결과 평균 휨강도 6.0MPa, 표준편차 0.35MPa로서 변동계수는 5.9%, 2일간 생산된 총 1,800m³의 포장콘크리트 중 설계기준 휨강도 4.5MPa를 미달할 확률은 0%임을 알 수 있다. 또한 현장 시험실에서 3년간 측정된 휨강도 측정결과에 대한 통계분석에서 평균 휨강도 5.92MPa, 표준편차 0.37MPa로서 변동계수 6.25%이었으며, 설계기준 휨강도를 미달할 확률은 0.02%로 나타났다.

일반적으로 발취검사에서 사용된 시료의 수가 30회를 넘는 경우 표본의 통계량은 모집단의 통계량과 유사한 것으로 알려져 있으며, 본 분석에서도 이러한 결과를 확인할 수 있었다. 이와같이 실제 시공된 포장콘크리트의 휨강도가 설계기준강도를 미달할 확률이 거의 0%로 나타나는 것은 표 3에서와 같이 평균 휨강도가 설계기준강도의 약 1.3배로 매우 높고, 표준편차가 매우 낮아 현장 콘크리트의 품질이 잘 관리되고 있기 때문으로 판단된다.

3.2 로트 크기에 대한 검토

품질검사를 위한 로트 크기 및 발취시험 횟수 결정문제는 관련 전문가의 경험적·기술적 판단에 의해 설정되는 것이 일반적이다. 그러나 다양한 경험을 토대로 로트 크기와 시험횟수 선정하기 위해서는 많은 시행 오차를 필요로 하며, 그 결과에 대한 책임의 문제가 있기 때문에 일률적인 기준 설정에는 많은 부담을 가지게 된다. 일례로 구조물용 콘크리트의 강도에 대한 품질검사 기준이 전술한 바와 같이 450m³을 1로트의 크기로 설정한 근거를 찾을 수 없으며, 심지어 본 기준이 2009년 콘크리트 표준시방서 개정과 더불어 300m³로 축소된 것에 대한 근거도 부족한 실정이다.

따라서 본 검토에서는 KS Q 0001에서 규정하고 있는 샘플링 검사(발취검사) 방식의 결정방법을 활용하여 포장콘크리트 휨강도의 품질검사 로트의 크기를 결정하였다. 본 표준은 계량 규준형 1회 샘플링 검사에 대하여 규정하고 있으며, 표준차를 모를 때 상한 또는 하한 규격값중 한쪽만 규정된 경우에 대하여 샘플링 검사 방식의 결정 및 실시방법에 대한 규정이다. 또한 가정된 통계량(생산자의 위험율, 소비자의 위험율, 로트 불량률의 상한, 로트 불량률의 하한 등)을 이용하여 합격판정계수 및 시료수가 결정되며, 다음 조건을 만족하는 경우 그 로트를 합격으로 판정할 수 있다.

$$\bar{x} - ks \geq S_L$$

여기서, \bar{x} : 시료의 평균값(MPa)

k : 합격판정계수

s: 시료의 표준편차(MPa)

S_L :하한 규격값(포장콘크리트의 경우 설계기준강도, 4.5MPa)

다만 본 표준에서 구해지는 시료의 크기(n)는 로트로 부터 샘플링한 검사단위의 총수를 나타내는 것으로 즉, 1회 시험에 필요한 시료의 수를 의미한다. 따라서 본 연구에서 검토하고자 하는 포장콘크리트 품질검사 로트 크기와는 큰 차이가 있으므로 본 연구에서는 KS Q 0001을 준용하기 위하여 1개 현장 포장콘크리트의 전체물량을 1로트로 가정하여 결과의 통계적 검증에 필요한 시료수를 결정한 다음 전체물량에 대하여 결정된 시료수를 나누므로써 로트 크기를 결정하였다. 시료수 결정을 위한 가정 통계량은 표 4와 같다.



표 4. 시료수 결정을 위한 가정 통계변수

생산자 위험율 (α)	소비자 위험율 (β)	합격시키고 싶은 로트의 불량률상한(P_0)	불합격시키고 싶은 로트의 불량률하한(P_1)
0.05	1.0	0.13~1%	1~10%

표 4의 가정통계량으로부터 KS Q 0001 부표 1에 규정된 시료수 및 합격판정계수를 결정한 결과가 표 5이다. 이 표에서 생산자와 소비자 위험율을 각각 5 및 10%로 하였을 때 합격판정계수는 합격시키고 싶은 로트의 불량률 상한(P_0) 및 불합격시키고 싶은 로트의 불량률 하한(P_1)이 감소함에 따라 증가하는 것을 알 수 있으며, 합격시키고 싶은 로트의 불량률 상한(P_0)의 증가 및 불합격시키고 싶은 로트의 불량률 하한(P_1)의 감소에 따라 필요한 시료수가 증가하는 것을 알 수 있다.

표 5. 시료수와 합격판정계수

$P_0(\%)$ \ $P_1(\%)$	$P_1(\%)$		
	1	5	10
0.13	2.64(k)	2.28	2.10
1.0	80(n)	17	10
	-	54	21

주) n : 시료수, k : 합격판정계수

이상의 분석결과를 토대로 표 3에서 통계분석된 휨강도 표준편차 0.37MPa를 적용하면 합격판정계수를 고려한 휨강도가 5.15~5.48MPa로서 현장시험실에서 실시된 약 6,300회의 평균강도인 5.92Mpa보다 크게 낮은 값을 알 수 있다. 또한 합격판정계수를 고려한 휨강도 5.48MPa 미만일 확률을 계산해 보면 6,300회의 시험 결과 및 검증을 위한 29회 시험결과 모두 0%로 나타나 합격판정계수에 의한 시료수는 통계적으로 적정함을 알 수 있다.

마지막으로 적정시료수는 1개공구 총물량을 표 5의 적정시료수로 나누어 로트의 크기를 결정할 수 있으며, 이 경우 1일 800m³의 포장콘크리트 시공을 감안할 때 공시체 제작은 300m³마다 1회 제작이 적정한 것으로 나타났다.

4. 결 론

포장콘크리트의 시공특성을 고려하여 품질검사 적정로트의 크기를 검토한 결과 1일 800m³의 포장콘크리트 시공을 감안할 때 공시체 제작은 300m³ 마다 1회 제작이 적정한 것으로 나타났다.

참고 문헌

1. 한국표준협회, KS Q 0001, 계량규준형 1회 샘플링검사(표준편차를 모를 때 상한 또는 하한 규격값 중 한 쪽만 규정된 경우), 2006
2. 한국건설기술연구원, 도로포장설계시공지침, 건설교통부, 1991.