

콘크리트의 공기연행에 미치는 요인에 관한 연구

金 盟 起

〈雙龍洋灰工業(株) 富川工場
品質管理室長〉

1. 서 론

1965년도에 국내 최초로 레미콘 공장이 설립된 이래 PLAIN콘크리트를 약30년간 생산 출하하였으나, 구조물의 고층화 및 대형화로 인하여 콘크리트의 수밀성 및 내구성 증대와 작업성 개선이 불가피함에 따라서 1985년 9월 7일 KS.F 4009 규격 개정에 따라 업계는 규정 공기량(4 ± 1%)을 연행한 보통 콘크리트를 생산하고 있다.

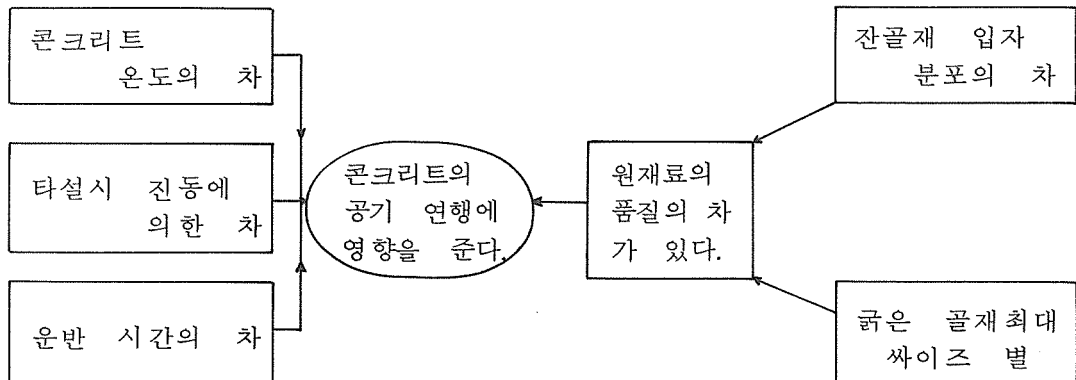
그러나 콘크리트중의 공기연행 능력에 영향을 주는 요인이 다양하나 업계는 콘크리트 공기량 연행에 관한 연구 사례 및 기술 축적이 다소부

족한 것으로 판단된다.

그러므로 금후 레미콘 품질의 관리 특성이 증가됨은 사실이며, 제반 여건에 따라 콘크리트 공기연행 능력에 차가 발생함과 동시에 제품의 불만이 예상되는 바, 제품의 불만을 사전에 방지하여 테이타의 신뢰성 증대 및 효과적인 레미콘 품질관리의 일환으로서 실험을 통하여 본 주제를 연구하고자 한다.

2. 시험 및 검토 개요

콘크리트의 공기 연행시 필수적인 영향을 주는 요인이 다수 있지만, 가장 큰 영향으로 레



미콘 제조시 관리 가능한 사후관리의 중점 요인에 대하여 앞의 그림과 같이 열거하였다.
 위 요인을 원재료에 의한 요인과 제조 공정 → 타설시 발생하는 요인을 구분하여 아래와 같이 실험을 실시하여 검토 하고자 한다.

- (1) 잔골재+물
- (2) 잔골재+물+시멘트(물탈)
- (3) 잔골재+물+굵은골재+시멘트(콘크리트)
- (4) 굵은골재 최대 size 별 콘크리트 공기량 변화시험

1) 원재료

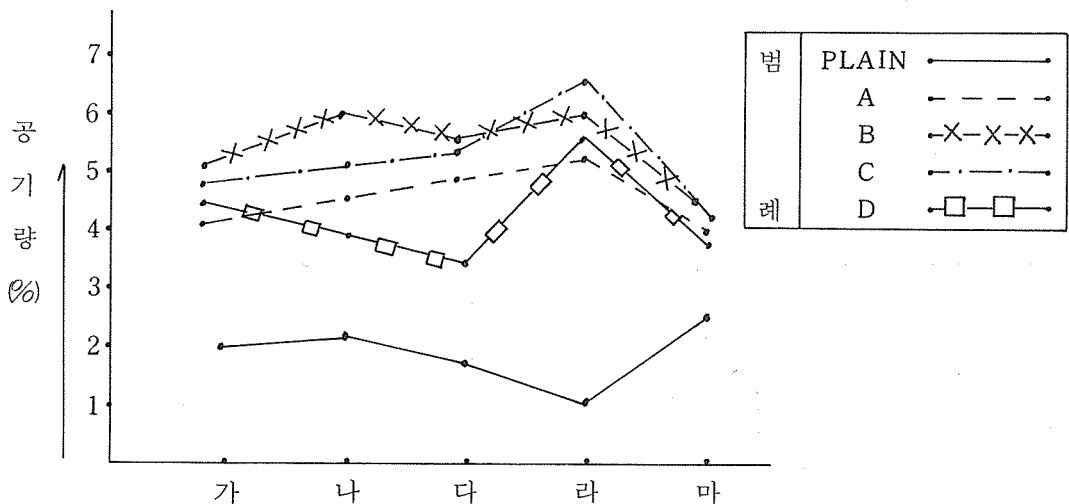
1-1) 잔골재 입자별 공기량 변화 시험

2) 제조→타설

“예” 각 공장별 A.E 감수제 시험결과와의 편차 현황

혼화제 종류 공장별	PLAIN		A		B		C		D		비 고
	공기 (%)	감수 (%)	공기 (%)	감수 (%)	공기 (%)	감수 (%)	공기 (%)	감수 (%)	공기 (%)	감수 (%)	
가	2.1	-	4.7	5.8	4.9	6.4	4.9	6.8	4.6	7.2	공기 (%)
나	2.1	-	4.1	8.2	6.2	8.5	5.2	8.1	4.8	8.4	$\bar{x} = 4.15$
다	1.9	-	4.0	5.9	5.4	9.8	5.2	9.2	5.1	8.1	$s = 1.51$
라	1.8	-	5.7	1.9	6.1	6.0	6.6	4.9	5.4	3.9	감수 (%)
마	2.3	-	4.1	6.7	4.3	5.2	4.4	5.2	4.4	6.4	$\bar{x} = 6.66$
평균	2.0	-	4.5	5.7	5.4	7.3	5.3	6.8	4.9	6.8	$s = 1.91$
표준편차	0.27	-	0.64	2.09	0.72	1.87	0.73	1.65	0.36	1.80	

각 공장별 A.E 감수제 시험결과와의 편차 현황 그래프



- 2-1) 콘크리트 온도변화에 따른 공기량 시험
- 2-2) 운반 시간에 따른 공기량 시험
- 2-3) 타설시 다짐에 따른 공기량 시험

- 3) 특성치 : 연행 공기량 (%)
- 1-4) 골재 최대 size별
 - 1) 적용 실험 계획법 : 반복있는 2원 배치법
 - 2) 인자 및 수준 소개 (IV)
 - 3) 특성치 : 연행 공기량 (%)
- 2) 제조→타설
 - 2-1) 콘크리트 온도별, 지연 시간별
 - 1) 인자 및 수준 소개 (V)
 - 2) 특성치 : 연행 공기량 (%)
 - 2-2) 진동 시간에 따른 변화(콘크리트 대사전 일본 데이터 이용)

3. 실험계획 및 방법

1. 원재료

- 1-1) 물과 모래의 혼합율(1 : 4)
 - 1) 적용 실험 계획법 : 반복 있는 2원배치
 - 2) 인자 및 수준 소개 (I)
 - 3) 특성치 : 연행 공기량 (%)
- 1-2) 몰탈(1 : 2.45, w / c : 48,5)
 - 1) 적용 실험 계획법 : 반복있는 2원 배치
 - 2) 인자 및 수준 소개 (II)
- 1-3) 콘크리트
 - 1) 적용 실험 계획법 : 반복없는 3원 배치
 - 2) 인자 및 수준 소개 (III)

4. 시험결과

- 1) 원재료
 - 1-1) 물과 모래의 혼합율

I.

인자	A : 잔골재 입자 구분별					B : 혼화제 사용별		비고
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	B ₁	B ₂	
내용	5 ~ 2.5 mm	2.5 ~ 1.5 mm	1.2 ~ 0.6 mm	0.6 ~ 0.3 mm	0.3 ~ 0.15 mm 이하	Plain	Admix (표준형) S × 0.10 %	공기량시험은 KS.F 에 준함.

II.

인자	A : 잔골재 입자 구분별					B : 혼화제 사용		비고
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	B ₁	B ₂	
내용	5 ~ 2.5 mm	2.5 ~ 1.5 mm	1.2 ~ 0.6 mm	0.6 ~ 0.3 mm	0.3 ~ 0.15 mm 이하	Plain	Admix (표준형) C × 0.15 %	

III.

인자	A : 잔골재 입자 구분별					B : 배합비		C : 혼화제 사용별		비고
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	B ₁	B ₂	C ₁	C ₂	
내용	5 ~ 2.5 mm	2.5 ~ 1.2 mm	1.2 ~ 0.6 mm	0.6 ~ 0.3 mm	0.3 ~ 0.15 mm 이하	25- 240-8	25- 100-8	Plain	Admix (표준형) C × 0.15 %	Slump 8.0 고정 S/A 고정

IV.

인 자	A : 골재 SIZE 별					B : 배합비 별		비 고
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	B ₁	B ₂	
내 용	물 탈	# 78	# 67	# 57	# 467	0-210-8	0-240-8	Slump: 8.0 고정, S/A: 고정, Plain 배합

V.

배합 : 25-210-8

인 자	A : 콘크리트 온도별				B : 지연 시간별			비 고
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	B ₁	B ₂	B ₃	
내 용	0 ~ 10°C	11 ~ 20°C	21 ~ 30°C	31°C 이상	30 분	60 분	90 분	Retempring Slump 8.0 고정

1-1) 물과 모래의 혼합율(1:4)

특 성 치 : 공기량 (%)
시험일자 : 85. 7.13

A인자 \ B인자	A ₁ 5~2.5mm	A ₂ 2.5~1.2mm	A ₃ 1.2~0.6mm	A ₄ 0.6~0.3mm	A ₅ 이하 0.3~0.15mm
B ₁ (Plain)	5.0 / 6.1	8.3 / 7.4	8.1 / 9.5	7.4 / 7.1	5.2 / 6.2
B ₂ (Admix)	8.2 / 9.1	9.8 / 10.2	10.8 / 11.0	9.9 / 10.3	7.6 / 6.4

1-2) 물 탈(1:2.45)

특 성 치 : 공기량 (%)
시험일자 : 85. 8.19

A인자 \ B인자	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
B ₁	3.1 / 2.9	5.1 / 4.7	6.9 / 6.8	5.9 / 6.2	2.2 / 2.4
B ₂	4.2 / 4.8	7.6 / 5.6	9.2 / 8.3	7.5 / 7.2	3.4 / 3.6

1-3) 콘크리트

특 성 치 : 공기량 (%)
시험일자 : 85.11.11

A.C인자 \ B인자	A ₁		A ₂		A ₃		A ₄		A ₅	
	C ₁ (Plain)	C ₂ (Admix)	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂
B ₁ (25-240-8)	1.6	4.2	1.8	4.8	2.2	5.6	1.8	5.0	1.4	3.9
B ₂ (25-100-8)	1.7	4.4	2.0	5.1	2.3	5.4	2.1	4.9	1.8	4.2

1-4) 골재 Size 별

					특 성 치 : 공기 량 (%)	
					시험일자 : 85.11.16	
A인자 \ B인자	A ₁ 몰 탈	A ₂ # 78	A ₃ # 67	A ₄ # 57	A ₅ # 467	
B ₁ 0-210-8	8.3 / 7.8	6.4 / 5.6	4.1 / 3.5	2.3 / 2.4	2.0 / 1.9	
B ₂ 0-240-8	7.0 / 7.2	5.1 / 4.3	3.6 / 3.4	2.2 / 1.9	1.8 / 1.8	

2) 제조→타설

2-1) 온도별, 혼합시간에 따른 공기량 (실험실적 데이터)

콘크리트 온도에 따른 공기량		혼합 시간에 따른 공기량		①-(②- 100) ③	③에 의한 설계기 준 공기량 변화		비 고
온 도	변화율% ①	분	변화율% ②		5 %	6 %	
0-10 °C	140.0	0	100.0	140.0	7.0	8.4	• 콘크리트온도별 데이터는 “바” 공장시험데이터 • 혼합시간에 따른 데이터는 당사시 험치임 • 콘크리트 온도 21°C기준
		30	86.0	126.0	6.3	7.6	
		60	78.0	118.0	5.9	7.1	
		90	75.5	15.5	5.8	6.9	
		평균	79.8	119.8	6.0	7.2	
11-21 °C	118.0	0	100.0	118.0	5.9	7.1	
		30	86.0	104.0	5.2	6.2	
		60	78.0	96.0	4.8	5.8	
		90	75.5	93.5	4.7	5.6	
		평균	79.8	97.8	4.9	5.9	
21-30 °C	93.5	0	100.0	93.5	4.7	5.6	
		30	86.0	79.5	4.0	4.8	
		60	78.0	71.5	3.6	4.3	
		90	75.5	69.0	3.5	4.1	
		평균	79.8	73.3	3.7	4.4	
31°C이상	81.0	0	100.0	81.0	4.1	4.9	
		30	86.0	67.0	3.4	4.0	
		60	78.0	59.0	3.0	3.5	
		90	75.5	56.5	2.8	3.0	
		평균	79.8	60.8	3.0	3.7	

2-2) 온도별, 혼합시간에 따른 공기량 (현장적용 데이터)

온도	혼화제 종류	표 준 형 1			조 강 형			표 준 형 2			비 고
		x	\bar{x}	s	x	\bar{x}	s	x	\bar{x}	s	
0-10 °C		18	4.2	0.43	7	3.8	0.41	19	4.5	0.84	• 시험장소 : B/P

11-20 °C	21	3.4	0.52	8	2.9	0.38	24	3.5	0.75	• 시험일자 : 1985.6.1- 12.31
21-30 °C	19	2.9	0.28				15	2.8	0.61	
31 °C이상	5	2.3	0.41				6	2.4	0.33	
평균	63	3.15	0.41	15	3.35	0.39	64	3.35	0.63	

5. 분산분석표

1-1 잔골재 입자 분포에 따른 공기량 변화

1) 원재료

(1) 물 + 모래 (혼합물)

요인	S.S	d. f	v	FO	F(0.05)	E (V)
A	32.054	4	8.013	10.156**	3.48	$\sigma E^2 + 4 \sigma A^2$
B	26.221	1	13.110	16.616	4.96	$\sigma E^2 + 10 \sigma B^2$
A × B	2.106	4	0.333			$\sigma E^2 + 2 \sigma A + B^2$
E	3.945	10				σE^2
T	64.325	19				

(2) 물 탈

요인	S.S	d. f	v	FO	F(0.05)	E (v)
A	66.172	4	16.543	58.16**	3.48	$\sigma E^2 + 4 \sigma A^2$
B	11.552	1	11.552	40.96**	4.96	$\sigma E^2 + 10 \sigma B^2$
A × B	6.328	4	0.082	0.290		$\sigma E^2 + 2 \sigma A \times B^2$
E	2.82	10	0.282			σE^2
T	80.872	19				

(3) 콘크리트

요인	S.S	d. f	v	FO	F(0.05)	E(v)
A	2.798	4	0.6995	55.96**	6.39	$\sigma E^2 + 4 \sigma A^2$
B	0.128	1	0.128	10.24**	7.71	$\sigma E^2 + 10 \sigma B^2$
C	41.47	1	41.47	3.3176**	7.71	$\sigma E^2 + 10 \sigma B^2$
A × B	0.092	4	0.023	1.84		$\sigma E^2 + 2 \sigma A \times B^2$
A × C	0.420	4	0.105	8.40*	6.39	$\sigma E^2 + 2 \sigma A \times C^2$

B × C	0.02	1	0.02	1.6		$\sigma E^2 + 2 \sigma B \times C^2$
E	0.05	4	0.0125			σE^2
T	44.978	19				

(4) 골재 Size 별

요 인	S.S	d.f	v	FO	F(0.05)	E (v)
A	89.587	4	22.397	215.36***	3.48	$\sigma E^2 + 4 \sigma A^2$
B	1.80	1	1.80	17.31**	4.96	$\sigma E^2 + 10 \sigma B^2$
A×B	0.995	4	0.249	2.39	3.48	$\sigma E^2 + 2 \sigma A \times B^2$
E	1.04	10	0.104			σE^2
T	93.422	19				

6. 결과에 대한 분석

1) 원재료

1-1 잔골재 입자 크기별 공기량 변화
 분산 분석표에 의하여 유의 수준 5%에서 매우 유의함에 따라 잔골재의 입자 크기가 물+모래(혼합물), 물탈, 콘크리트의 공기 연행에 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있으며, 그림 1. 2에서 나타난 것과 같이 잔골재 1.2-0.6mm의 입자 사이에서 공기가 다량 발생하며 5-2.5mm, 0.3mm 이하의 입자 사이에서 공기 연행 능력이

떨어 진다는 것을 알 수 있으며 그 차의 크기는 다음 표와 같다.

위의 표에서 나타난 것과 같이 물+모래 > 물탈 > 콘크리트 순으로 공기가 연행 된다는 것을 알 수 있음.

1-2) 골재 최대 SIZE별 공기량(%) 변화
 분산 분석표에 의하여 유의 수준 5%에서 매우 유의 하므로 골재 최대 size가 클수록 공기 연행 능력은 떨어진다는 것을 알 수 있으며 그 차의 크기는 표와 같다.

그림 1. 물탈, 물+모래와 잔골재 size 별 공기량

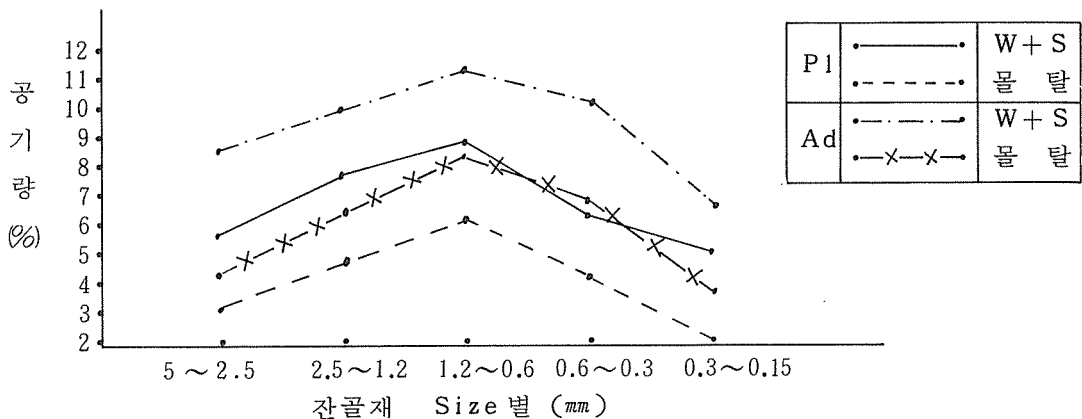
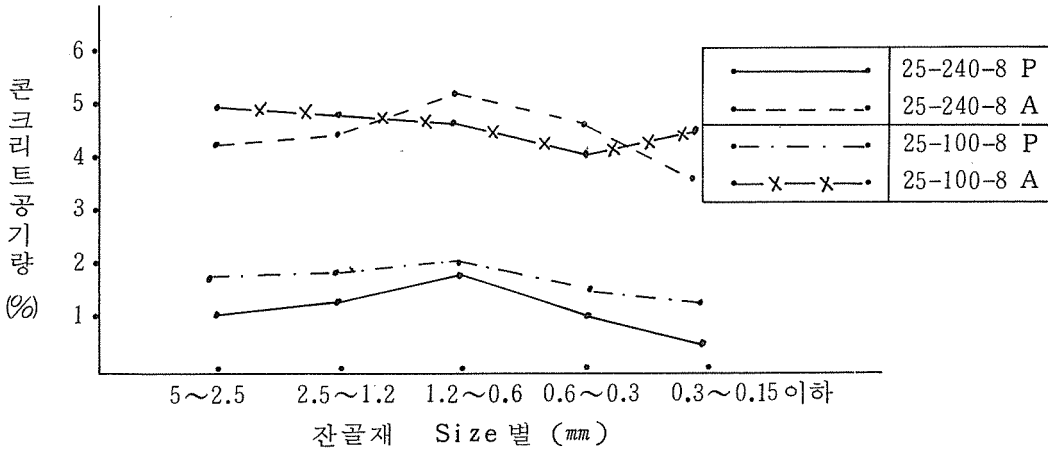


그림 2. 잔골재 Size에 따른 콘크리트 공기량



2) 제품→타설

2-1) 콘크리트 온도에 따른 공기 연행 능력

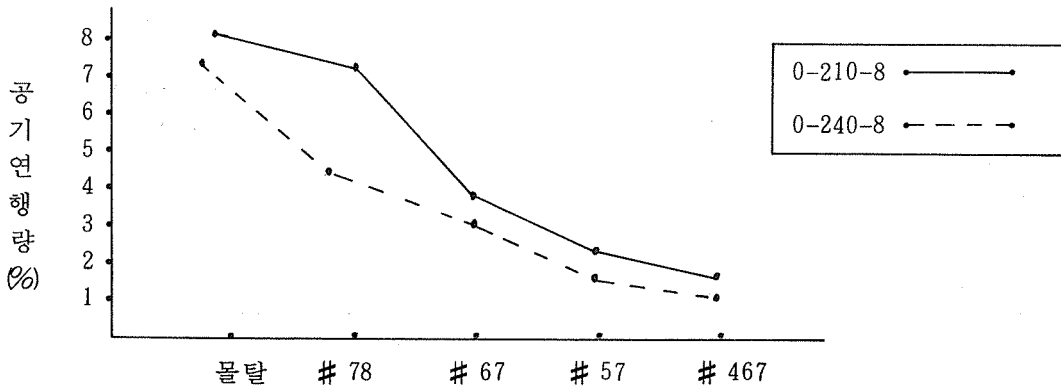
도 1의 그래프는 실험 실적 데이터로서 온도가 높으면 높을수록 콘크리트 중의 연행 공기는

량은 감소하고 있다.

다시 말해서 낮은 온도에서는 공기 연행 능력이 증가하지만 높은 온도에서는 혼화제 종류와 관계없이 공기 연행이 떨어진다는 것을 알 수 있다.

구분	잔골재 Size별					비 고
	5~2.5mm	2.5~1.2mm	1.2~0.6mm	0.6~0.3mm	0.3mm 이하	
W + S	7.1	8.9	9.8	8.9	6.4	공기량%
물 탈	3.8	5.8	7.8	6.7	2.9	
콘크리트	3.0	3.4	3.9	3.4	2.8	

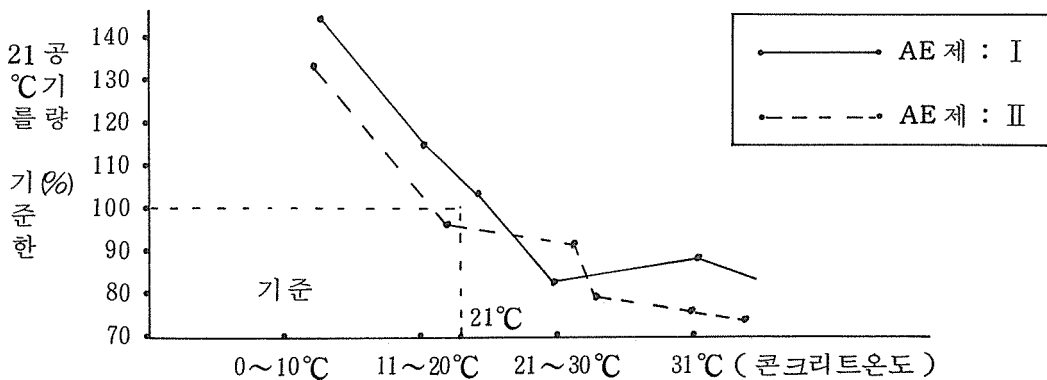
그림 3. 골재 최대 Size별 콘크리트 공기량



물 탈	# 78	# 67	# 57	# 467
7.6	5.4	3.6	2.2	1.9

1-3) 1-1), 1-2) 결과에 대한 레미콘 품질관리상의 활용안

구분	활 용 안	세 부 실 시 사 항																											
1 안	골재 조립율의 관리로 콘크리트 중의 잠재 공기량을 증대시킨다.	1) 잔골재인 경우 입도범위에 합격하며, 가능한 1.2-0.6 mm 사이의 입자를 많이 포함시킨다. 2) 굵은 골재인 경우 입도범위에 합격하며, 가능한 13mm이하의 입자가 다량 함유되도록 한다.																											
2 안	실험물탈배합의 단위 용적을 1,000 ℓ에서 950 ℓ로 감소하여 적용한다.	물탈배합에는 6%의 잠재 공기량을 갖고 있으므로 다음과 같이 단위 용적을 변경한다. (HR-420)																											
		<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">배합명</th> <th rowspan="2">ℓ / m³</th> <th colspan="3">단 위 재 료 량</th> <th rowspan="2">kg / m³</th> </tr> <tr> <th>C</th> <th>S</th> <th>W</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>420</td> <td>1,000</td> <td>420</td> <td>1,616</td> <td>245</td> <td>2,281</td> </tr> <tr> <td>//</td> <td>950</td> <td>420</td> <td>1,486</td> <td>245</td> <td>2,151</td> </tr> <tr> <td>//</td> <td>차</td> <td></td> <td>130</td> <td></td> <td>130</td> </tr> </tbody> </table>	배합명	ℓ / m ³	단 위 재 료 량			kg / m ³	C	S	W	420	1,000	420	1,616	245	2,281	//	950	420	1,486	245	2,151	//	차		130		130
배합명	ℓ / m ³	단 위 재 료 량			kg / m ³																								
		C	S	W																									
420	1,000	420	1,616	245	2,281																								
//	950	420	1,486	245	2,151																								
//	차		130		130																								



도 - 1 시험실적 콘크리트 온도와 공기량

또한 그차의 크기는 21°C(상원)을 기준으로 % 공기가 연행되며 31°C 이상에서는 81%의 공
 하였을시 콘크리트 온도 0-10°C인 경우는 140 기가 연행 됨을 알 수 있다.

따라서 도-2에서 나타난 것과 같이 본안에서 레미콘 생산 제품에 대하여 콘크리트 온도별 공기 연행 능력을 시험한 결과 A·E제가 아닌 감수 분산제를(표준형1.2) 사용했을시 콘크리트 온도 20°C 이하에서는 목표 공기량 4 ± 1%를 만족시키고 있으나 21°C 이상에서는 목표 공기량을 만족시키지 못하고 있다.

“죽” 매년 11월-3월 사이의 레미콘 제품에는 감수 분산제를 사용 하더라도 목표 공기량 4 ± 1%를 만족 시킬 수 있으나 4월-10월 사이에 레미콘에는 A·E감수제 또는 A·E제를

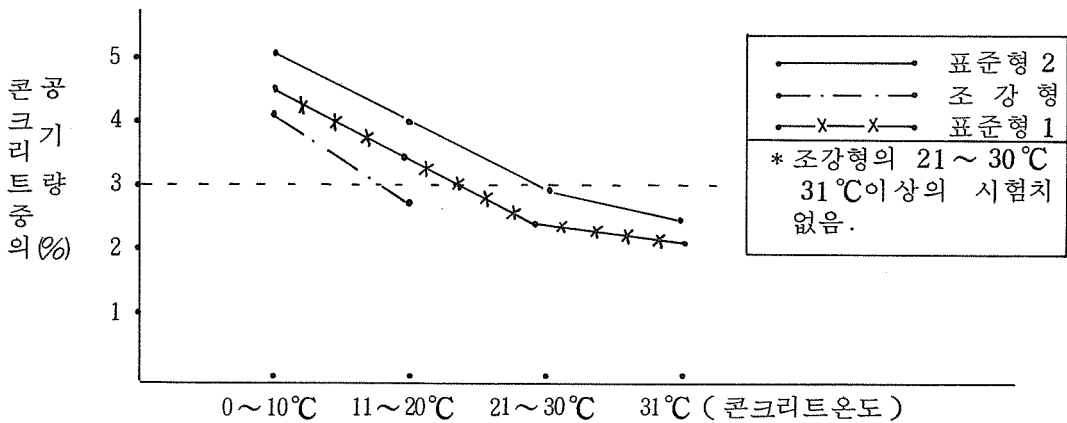
사용하여야 한다는 것을 알 수 있으며 특히 콘크리트 온도에 따라서 공기량의 큰편차가 있으므로 목표 공기량 설정시나 실험시 주의하지 않으면 안되는 것으로 사료됨.

도-3은 콘크리트 기술 사전(일본)의 데이터를 이용 하였음.

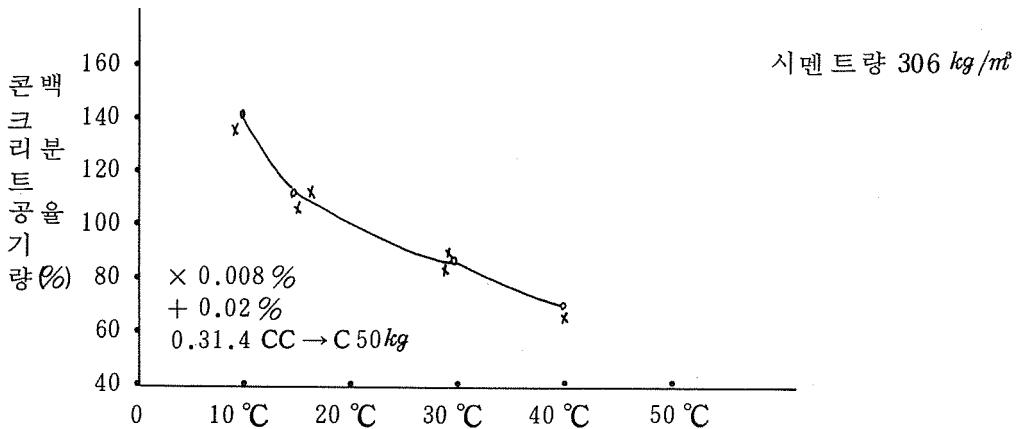
2-2) 운반 시간에 따른 공기량 변화

도-4에서 나타난 것과 같이 콘크리트 중의 공기량은 교반시키면서 시간이 지나면 지날수록 점차적으로 감소하는 추세를 나타내고 있다.

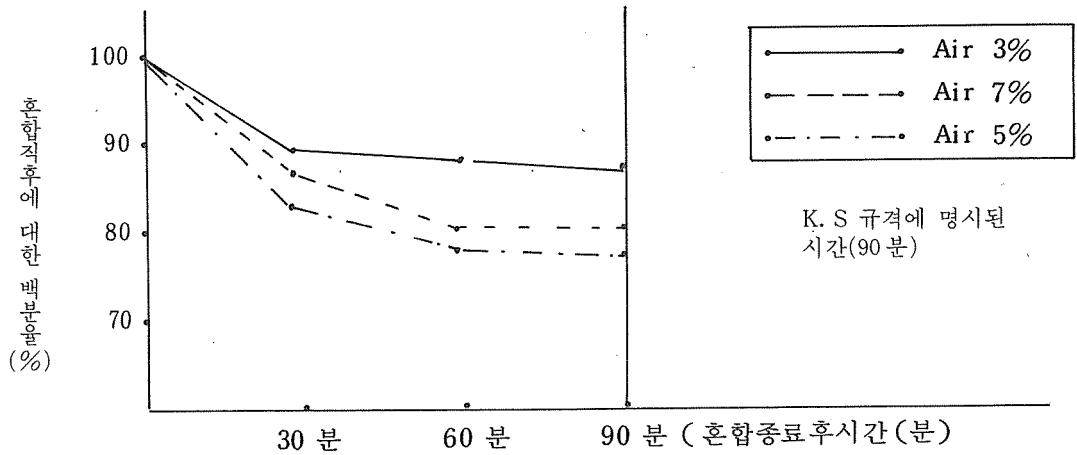
“죽” 운반 시간이 길어지면 길어질수록 콘크



도-2 현장적용 콘크리트 온도와 공기량



도-3 콘크리트 온도와 공기량

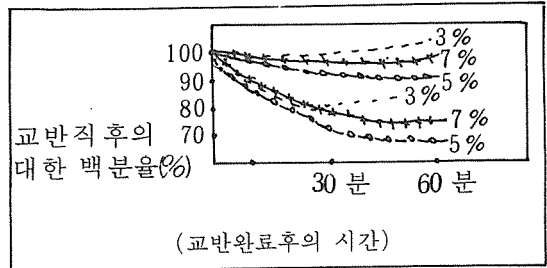


도-4 교반시간에 따른 공기량 감소율

리트 내에 공기량은 감소 한다는 것이다.

그 차의 크기는 KS.F 상의 운반 시간 90분을 기준으로 하였을시 약10-15% 정도의 공기량이 감소한다.

따라서 레미콘 공장에서는 목표 공기량 산출시 운반 거리에 따라 감소하는 공기량도 고려하지 않으면 안된다.



2-3) 1-1), 1-2) 결과에 대한 레미콘 품질 관리상의 이용방안

구분	이용안	내용	
		현행	이용안
1안	콘크리트온도 구분별 혼화제 구분사용	A.E감수제 사용	1) 11월 - 3월 (콘크리트 온도 20°C이하)에는 감수분산제를 사용한다. (공장에서 품질실적상 어려운 경우는 자체판단하에 사용) 2) 4월 - 10월 (콘크리트 온도 21°C이상)에는 A.E 감수제를 사용한다.
	• 근거 : 도 5, 도 6, 도 7에 의하면 콘크리트 중에 공기량이 증가하면 증가할수록 압축강도는 감소한다.		

따라서 레미콘 제조원가 상승됨. (현재 국내에서 시판되는 A.E 감수제인 경우, 동일 W/C 배합강도를 90-95% 정도 만족시킴)

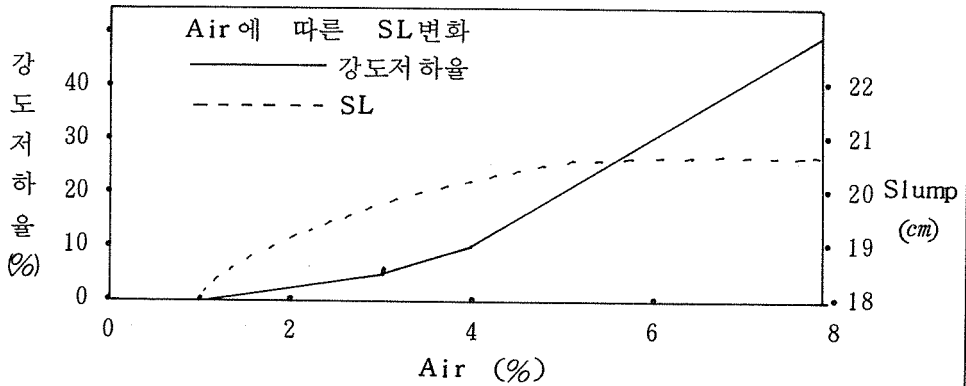
도 - 5. A.E제량과 공기량 강도

A.E (%)	0	0.005	0.010	0.015	0.020	
Air (%)	1.3	2.7	3.8	4.9	6.1	
SL (cm)	18	19	19.5	20	20.4	
280	강도	228	209	188	172	154
	치수	100	92.3	82.5	75.0	67.5
저하율	0	2.9	4.2	5.1	5.3	

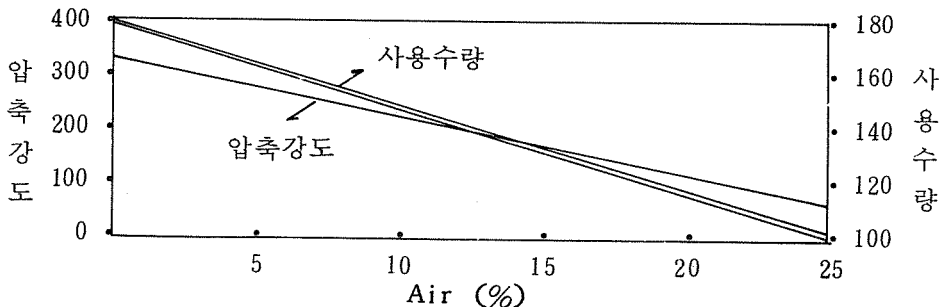
25 mm, S : 2.5 mm, W/C : 65.0, SL : 18 cm

도 - 6. 공기량과 강도 저하율, SL 증가

1 안



도 - 7. 공기량과 압축강도



*도표 5, 도표 6, 도표 7 은 콘크리트 사전(일본)의 데이터를 인용하였음.

2 안	특주품인 A.E 제배합인 경 우 별도시방	* 공기량목표치 : 기온, 운 반시간에 따른 공기량 저하를 고려하여 생산 에서의 목표치는 다음 과 같다. $A(\%) = A_D + 0.5\%$ A : 소요공기량 목표치 A_D : 기준공기량	* 공기량목표치 : 기온, 운반시 간에 따른 공기량 변화를 고려하여 생산에서의 목표 치는 표 1 과 같다.	
	표-1	콘크리트온도	운반시간	목표공기량 (%)
	0 - 10 °C	90 분	$A = A_o - 1\%$	* A_o 치가 콘크리트 온도 21 °C에서 설정된 경우 적 용
	11 - 20 °C	//	$A = A_o + 0.5\%$	
	21 - 30 °C	//	$A = A_o + 1.0\%$	
	31 °C 이상	//	$A = A_o + 1.5\%$	

2-3). 1-1), 1-2) 결과에 대한 레미콘
품질관리 상의 이용방안

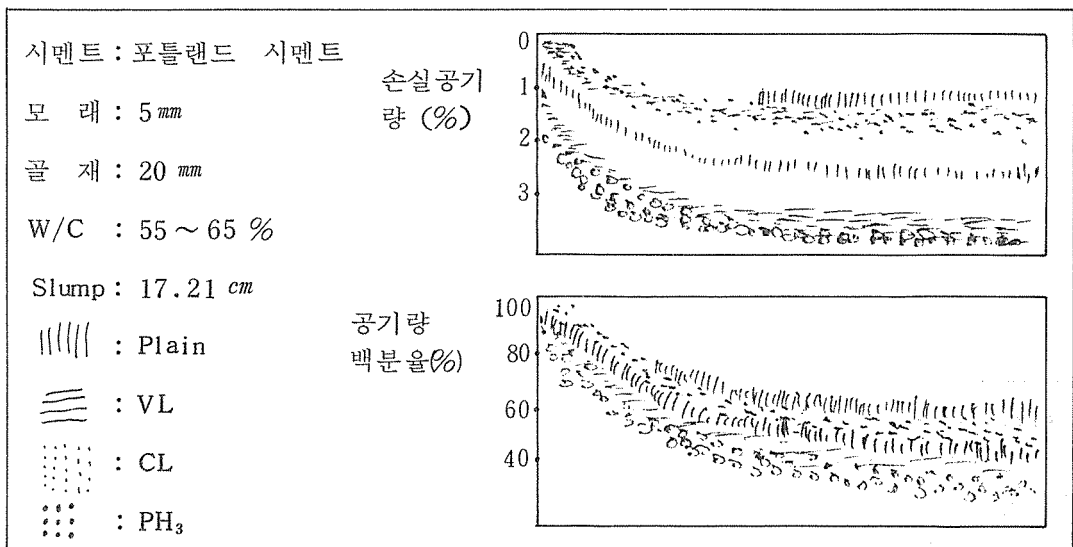
2-4) 콘크리트 타설시 진동 시간과 공기
량 관계

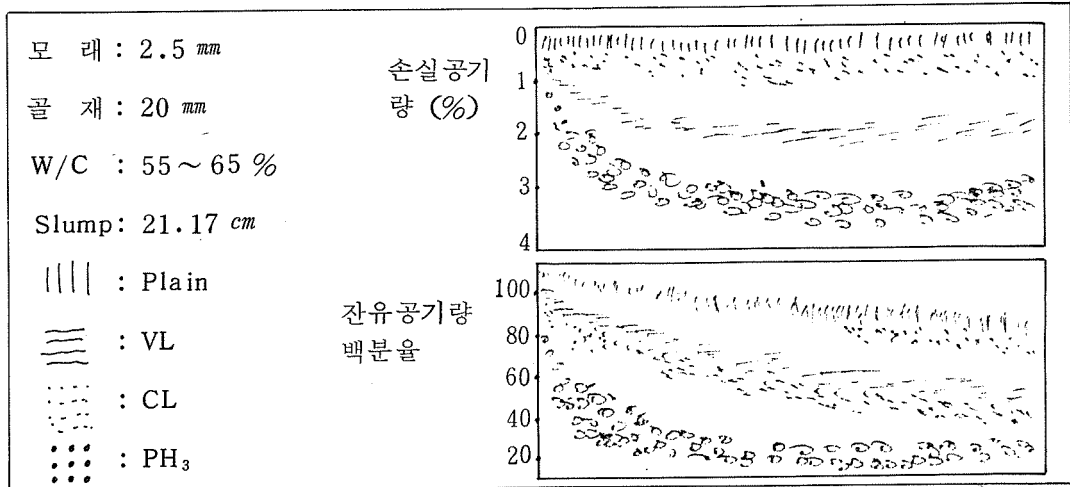
도 - 8에 나타난 것과 같이 현장 타설시 진동
기에 의한 다짐으로 콘크리트 중의 공기량이 감

소한다는 것을 알 수 있다.

그차의 크기는 진동시간 30초 - 1분 사이에
공기 연행제를 사용한 경우는 1.5-2 %의 공
기가 감소하며 Plain에서는 약0.5%의 공기량
이 감소한다.

국내의 일반적인 현장에서는 레미콘 타설시





도 - 8. 진동시간과 공기량 관계

결과에 따른 품질관리상의 유의할 사항

현장도착레미콘 배합비 단위 용적 (ℓ/m³)			타설후 콘크리트 단위 용적 (ℓ/m³)	문 제 점
공기량	설계용적	실용적		
3.5	990	1,025	1,005	현장 도착시의 레미콘 용적은 규정 용적이상이나 타설된 콘크리트의 용적이 부족 따라서 현장 불만발생을 증대
3.5	980	1,015	995	
3.5	970	1,005	985	
근 거				

약30초의 진동 다짐이 대부분이겠으나 대형 구조물 및 용벽같은 경우는 1분 이상의 진동 다짐을 할 경우가 있다.

이와같은 경우에는 상당한 량의 공기량이 소

멸될 수 있다는 것을 알 수 있다. 특히 고층구조물의 경우 Pump car 타설 및 진동 다짐시는 콘크리트 중의 공기량 변화에 큰 영향을 줄

수 있다는 것을 알 수 있다. *