레미콘제조의 사회적役割과 品質管理

梁 在 均
〈雙龍洋灰工業(株) 中央研究所 所長〉

〈目 次〉

1. 序 論
2. Remicon의 주요 品質特性
2.1 施工性
2.2 耐久性
2.3 强 度
3. Remicon생산관리에 의한 품질변동
3.1 원재료 및 계량관리
3.2 배합관리
3.3 강도의 早期判定
4. Remicon시공 현장에서의 품질관리
4.1 加水
4.2 양생
5. 콘크리트 제조기술의 최신동향
5.1 고강도콘크리트
5.2 유동화콘크리트
5.3 특수콘크리트
6. 콘크리트 내구성 조사의 최신동향
6.1 내구성 조사방법
6.2 비파괴검사에 의한 강도측정
6.3 비파괴검사에 의한 균열깊이 측정
7. 結 言

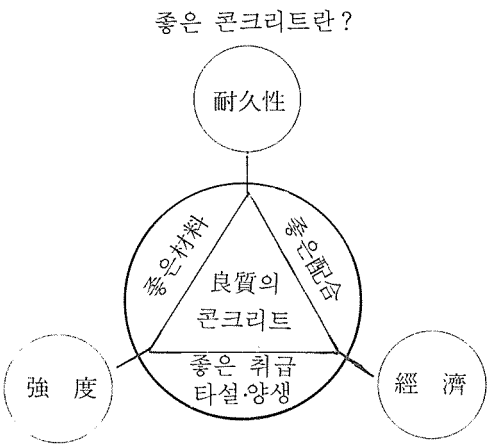
1. 序 論

레미콘은 生産者로 부터 購入者에게 넘어가는 時點에서는 아직 半製品이고, 상거래상 가장 중요한 品質特性인 強度의 최종확인을 할 수 없다는 商品特性을 갖고 있다. 또한 레미콘 品質은 제조, 운반, 시공과정에서 피할수 없는 變動이 생기게 되는데, 이것은 재료, 계량오차, 온도, 시공조건등 수많은 요인에 의해 발생되고 있다.

아울러 이러한 特性뿐만 아니라 최근에는 콘크리트 耐久性 문제등과 같은 레미콘 品質에 관한 건설관계자의 관심도가 증가함에 따라 레미콘의 納入後 상당한 시간이 경과한 후에도 生産者에게 각가지의 불만을 제기하는 경우가 종종 發生한다.

近年에 와서는 위와같은 현실적인 문제 이외에 高性能 콘크리트를 제조해야만 하는 막중한 責任이 가중되고 있는데, 이것은 지난날 鋼材에만 依存하던 長大支間의 大型 構造物, 복잡한 形態의 構造物을 콘크리트로써 사용할수 있기 때문이다. 따라서 레미콘 종사자들은 콘크리트 産業의 社會的인 役割에 自負心과 責任感 그리고 콘크리트에 대한 깊은 애정을 갖고 소비자의 Needs지향적인 판매 및 서어비스 활동과 더불어 콘크리트 技術向上에 힘써야 할 것으로 생각된다. 따라서 본 보고서에서는 레미콘 제조로 부터 내구성 조사까지 레미콘 종사자라면 필히 알아야할 내용을·최신기술동향 중심으로 서술하고자 한다.

2. Remicon의 주요 品質特性



2.1 施工性

양호한 콘크리트란 한마디로 말하면, 아직 굳지 않은 상태에서는 施工性이 좋고, 경화한 후에는 균일한 품질을 가져야하는 동시에 필요한 강도를 가지고, 내구성이 좋아야 한다. 아무리 좋은 材料와 좋은 配合으로 좋은 콘크리트를 제조하더라도 시공성이 타설구조물 특성에 적합치 않으면 良質의 콘크리트가 될 수가 없다. 특히 購入者는 經濟的인 측면만 고려하여 된 슬럼프의 레미콘을 계약하는 경우가 많아 施工할때 加水하는 것이 비일비재하여 材料分離가 생겨서 나쁜 콘크리트가 되기 쉽다. 최근 선진 외국에서는 Pump 施工이 보편화 되어 표1, 표2의 슬럼프 최대치보다 3㎝ 정도 높여서 施工하는 것이 일반화되고 있기 때문에 레미콘 계약당시 현실적인 슬럼프로 계약될수 있도록 유도하는 것이 레미콘 종사자의 사회적 責任에 속한다.

(표1) 각종 부재에 사용하는 콘크리트의 Slump 표준치

부재의 종류	Slump의 최대치(㎝)
매시브한 무근콘크리트 (큰교각, 아치등)	5
대단히 매시브한 무근콘크리트 (교각, 옹벽, 기초바닥, 대형아치등)	7.5
턴넬의 벽및 아치	10
포장콘크리트	2.5

(표2) 각종 부재에 사용한 콘크리트의 Slump 예

부재의 종류	Slump(㎝)
철근콘크리트의 지하벽등	10
철근콘크리트의 기초바닥	13
철근콘크리트의 보, 벽, 기둥	15

2.2 耐久性

1) 凍結融解에 대한 저항성

콘크리트에 함유되어 있는 물이 동결융해 하면 그 氷壓때문에 콘크리트 조직에 미세한 균열이 가고 동결과 융해가 반복되면 그 손상은 서서히 커진다. 동결융해에 대한 저항성을 증대시키기 위해서는 물시멘트비를 작게해서 수밀한 콘크리트를 만들면 좋고 또한 AE제를 혼합하여 3~5%의 공기량을 함유시키면 그 저항성을 증대시킨다. 이는 AE제에 의해서 단위수량을 감소 시켜서 콘크리트 수밀성이 증대하고 미세하게 독립한 연행공기의 쿠숀작용으로 氷壓에 의한 파괴력이 완화되기 때문이다. 그림1, 그림2는 콘크리트에 공기연행을 시키는 것이 동결융해 저항성을 증대시키는 절대적인 요건이라는 것을 보여준다.

2) 海水의 작용에 대한 저항성

해수에 함유된 황산염은 시멘트 경화물에 작용하며 다량의 결정체를 가진 복염을 형성하여 팽창하고 콘크리트를 붕괴시키는 작용이 있다. 특히 C_3A가 많은 시멘트에서는 그의 경향이 현저하다. 각종시멘트중 해수의 작용에 대해서 특히 내구적인 시멘트는 내황산염 시멘트(Typev Cement)이다.

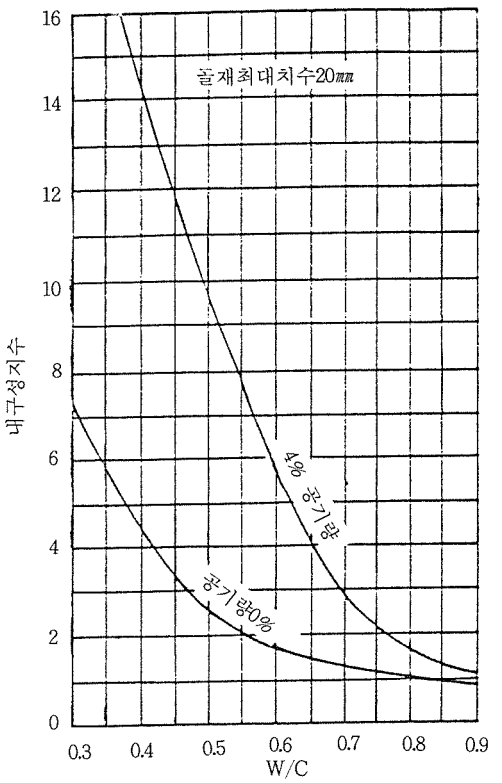


그림1 보통 및 AE콘크리트의 내구성과 W/C비와의 관계

3) 화학약품에 대한 저항성

황산, 염산, 초산등의 무기산은 시멘트 수화물중의 석회, 규산, 알루미나등을 융해하기 때문에 콘크리트는 심하게 침식되어 붕괴한다. 유기산의 작용은 무기산에 비해 약간 약하다.

나트륨, 마그네슘 및 칼슘등의 황산염은 시멘트중의 수산화석회 및 C_3A와 반응하여 에트린자이트(Ettringite)를 만들므로, 현저하게 팽창하여 콘크리트를 파괴한다.

일반적으로 유류는 경화콘크리트에 거의 영향을 주지 않는다. 이들 부식물질에 대한 콘크리트의 내구성을 증대시키는데는 콘크리트 표현에 내식성이 큰 재료로 보호막을 만드는 것, 콘크리트를 수밀한 것으로 하는 것이 중요하다.

2.3 強 度

콘크리트의 配合設計에 있어서 콘크리트 品質의 級에 대응하여 設計基準強度에 대한 不良率과 最低値를 規定하여 配合強度를 결정하도록 되어 있다. 특히 콘크리트의 강도는 재료, 계량오차, 온도, 시공조건등 수많은 要因에 의해 變動이 발생하는데, 構造物의 安定性과 經濟性을 고려하여 합리적이고도 경제적으로 소

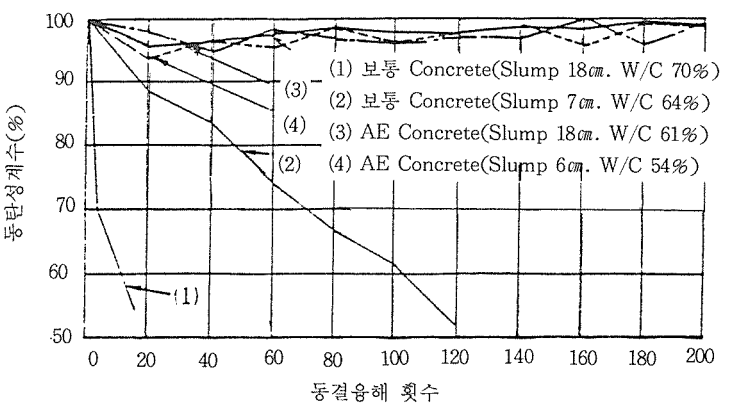
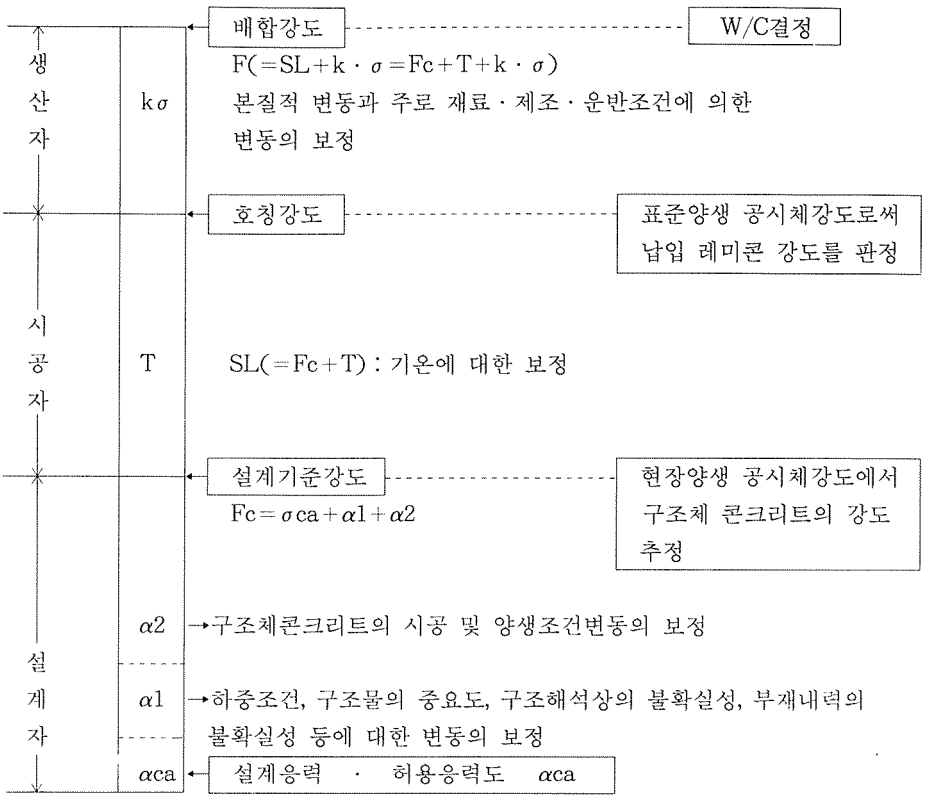


그림2 각종콘크리트의 동결융해 시험성적



(그림-3) 강도설계 임무 흐름도

(표-3) 배합에 관계되는 요인의 허용오차 및 변동이 콘크리트 품질에 미치는 영향

요 인		변동의 크기(최대치) (%)	28일강도의 영 향(%)	Slump값의 영 향(㎝)	연행공기량의 영 향(%)
*계량 허용 오차	시 멘 트	±1 (± 3kg/m³)	±2.0	—	±0.1
	잔 골 재	±2 (± 15kg/m³)	±1.0	∓1.0	±0.1
	굵은골재	±2 (± 20kg/m³)	∓0.5	∓0.2	∓0.2
	물	±1 (± 1.6 ℓ/m³)	∓2.0	±0.4	—
연행공기량		±1 (±10 ℓ/m³)	∓7.5	±1.7	—
골재표 면수율	잔 골 재	±0.2 (± 1.5 ℓ/m³)	∓1.5	±0.5	—
	굵은골재	±0.1 (± 1.0 ℓ/m³)	∓1.0	±0.2	—
조립율	잔 골 재	±0.2	강도에	∓1.0	영향이 큼
	굵은골재	±0.2	간접적 원인	∓1.0	불명확
시멘트강도		±2	±1~2	—	—
골 재 비 중		±0.5	—	—	—
골 재 입 형		극단의 경우 비교	불명확	3~4	1~2
믹서의 효율		—	약1	약0.5	0.3

*계량허용오차 : KS규격허용 오차

정의 강도값에 달성할수 있도록 不良率과 最低値를 規定하는 통계적 품질관리를 제조규격에 규정하고 있다.

따라서 품질관리 여하에 따라 경제적인 콘크리트를 만들 수 있는 것이다. 그림 1은 설계자, 시공자, 생산자, 각자의 강도에 대한 임무를 표시한 것으로 각자의 철저한 품질관리가 직접적으로 경제적인것에 직결되는 것을 보여준다.

3. Remicon생산관리에 의한 품질변동

3.1 원재료 및 계량관리

표3은 KS규격치에 규정한 계량오차 허용범위의 최대치 및 재료의 변동에 대한 강도와 기타 물성변동의 영향을 나타낸 것이다.

이와같이 정상적인 관리상태에서도 강도의 변동발생은 클 수 있기 때문에 콘크리트 제조시 품질관리 상태를 나타낼 수 있는 표준편차 및 변동계수의 측정과 이에 따라 배합강도가 KS규격의 레미콘 강도 규정에 의해 설정되어야 한다.

그림4, 그림5는 계량오차가 슬럼프와 강도에 미치는 영향을 보여준 것으로 시멘트의 계량오차가 ±1%이면 대략 28일 압축강도는 ±8.2kg/cm^2, 물의 계량오차가 ±1%이면 ±6.8kg/cm^2 변화하면 2%정도의 계량오차가 발생하면 강도의 日間度動이 15kg/cm^2 정도가 되므로 계량관리의 중요성에 留意할 필요가 있다.

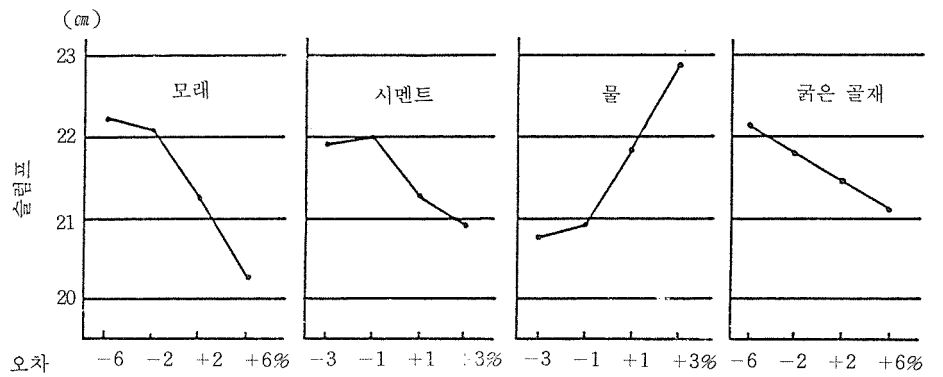


그림4 계량오차가 슬럼프에 미치는 영향

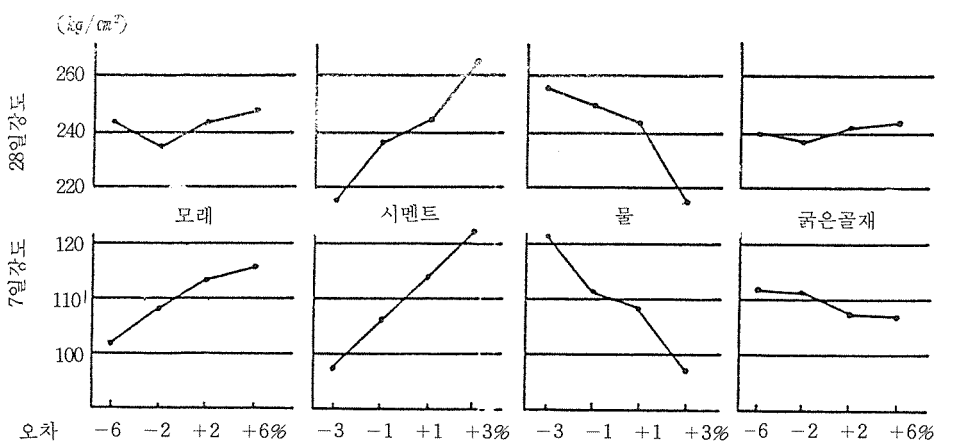
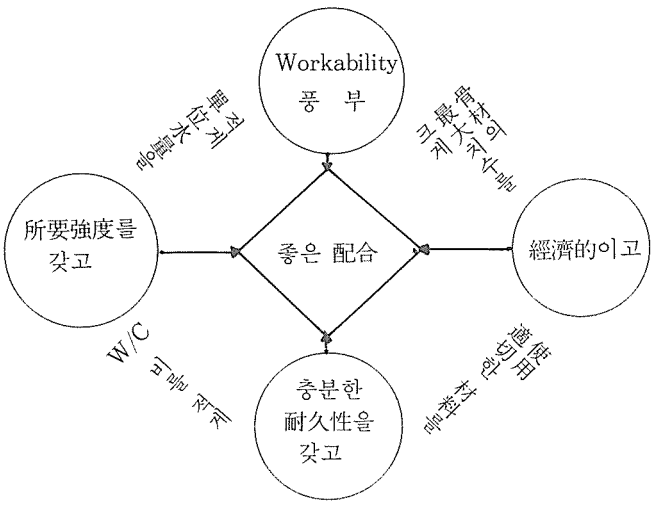


그림5 계량오차가 강도에 미치는 영향

3.2 배합관리

좋은 配合設計의 基本的 사고방법



(표-4) 변동계수 (V)와 할증계수(α) 관계에 따른 배합강도(KS규격)

변동계수(%)	16	14	12	10	8	6
할 증 계 수	1.63	1.47	1.33	1.21	1.16	1.12
배합강도(kg/cm^2)	293	265	239	218	209	202

주) ○호칭강도 : 180kg/cm^2 기준
○배합강도=호칭강도×할증계수
○불합격될 확률 P=0.0013 (즉 3σ 경우)

배합강도는 콘크리트품질의 변동을 加味하여 결정하도록 KS규격에서는 규정하고 있는데 표 4에서 보여지는 것처럼 원재료 및 계량관리와 함께 배합관리의 精度 여하에 따라 레미콘 원가에 직접적인 영향을 준다.

그림 6은 氣溫에 의해 콘크리트 強度가 크게 변화하고 있는 것을 보여 주는데 하절기에는 불합격될 確率이 많고 동절기에 비경제적인 콘크리트가 제조되므로 표5처럼 季節에 따라 配合管理를 할 必要가 있다. 그림 7은 계절에 다라 배합관리한 예로서 평균강도(CL1>CL2)를 낮출수 있었으며 강도범위도 작아져서 ($R^1>R^2$) 경제적인 레미콘을 제조한 것을 보여 준다.

(표-5) 季節配合修正의 例

修正의 條件 (콘크리트 溫度)	修正方法	
	Water	W/C(%)
10℃이하	−3kg/m^3	2
10~15℃	−3kg/m^3	같음
15~25℃	—	—
25~30℃	+6kg/m^3	같음
30℃이상	+6kg/m^3	−2

3.3 강도의 早期判定

콘크리트의 품질중에 가장 중요한 항목이 압

(표-6) 강도의 조기판정 시험방법과 28일강도 추정식

양생법	최종 판정 기간	시험시간(hr) 前養生+促進養生+後養生	촉진 양생 온도 (℃)	28일강도 추정식 σ28(28일강도), σS(촉진강도)	비 고
끓는 물 이용법	28.5 시간	23+3.5+2	100	$\sigma 28 = 126.6 + 1.286\sigma s$	ASTM C684 CSA A23.226
	5 시간	1+3+1	100	$\sigma 28 = \frac{\sigma s}{0.17 + 0.0011\sigma S}$	일 본
온수법	24 시간	0+23.5+0.5	35	–	ASTM C684
	25 시간	0.5+24+0.5	35	$\sigma 28 = \frac{\sigma s}{0.355 + 0.0009\sigma s}$	영 국
수열화법	49 시간	0.5+48+0.5	자체 수화열	$\sigma 28 = 82.97 + 1.356\sigma S$	ASTM C684 CSA A23.2.26
보방통법	7일	–	23	$\sigma 28 = 1.35\sigma 7 + 30$ $\sigma 28 = 1.39\sigma 7 + 35$	小野田 쌍 용

28일강도 추정식은 시멘트, 골재종류등 조건변화에 의해 달라지므로 각 레미콘 공장별 추정식 산출이 필요하다.

축강도이다. 그러나 현재의 시험방법으로는 28일 후에나 강도가 판명되기 때문에 고객에 대한 품질보증 서비스라는 측면 및 대금결재의 지연과 아울러 사후 문제점 처리에 심각성이 커지게 된다.

선진 외국에서는 강도에 대한 품질보증은 28일 강도로써 할 뿐만 아니라 조기에 판정된 강도로써도 콘크리트 품질은 보증할수 있도록 국가 규격화하고 있으므로 이에 대한 연구와 레미콘에의 적용이 절실하다.

콘크리트 조기판정법은 일반적으로 이용되는 7일 강도에 의해 28일 강도를 추정하는 방법이 있고, 촉진양행 시험법에 의한 강도의 조기판정 방법이 있다. 다음은 촉진양생 시험법에 의한 강도의 조기판정 적용대상 및 기본 조건을 열거하였고, 각국에서 사용되고 있는 촉진양생 시험법에 의한 강도의 조기판정 방법을 소개하였다.

1) 강도촉진 시험법의 적용대상
   (ㄱ) 제조공정관리 및 검사에 이용한다.
   (ㄴ) 배합결정 및 수정에 이용한다.
   (ㄷ) 골재와 같은 미지재료를 선정하는 품질시험에 이용
   (ㄹ) 레미콘 제조공정의 일간변동과 Batcher 간의 변동등에 대한 원인규명에 이용
2) 강도촉진 시험법에 요구되는 기본조건
   (ㄱ) 시험결과 획득시간이 빠를 것.
   (ㄴ) 28일 표준양생강도와의 상관성이 높고, 추정치의 표준오차가 적을 것.
   (ㄷ) 양생조건 등의 약간의 변동에 의해서 결과에 큰 영향을 받지 않아야 하며, 충분한 재현성이 있을 것.
   (ㄹ) 간편한 장치, 손쉬운 조작, 저렴한 비용일 것.
3) 촉진양생 시험법에 의한 강도의 조기판정 방법

28일강도 추정식은 시멘트, 골재종류등 조건 변화에 의해 달라지므로 각 레미콘 공장별 추정식 산출이 필요하다.

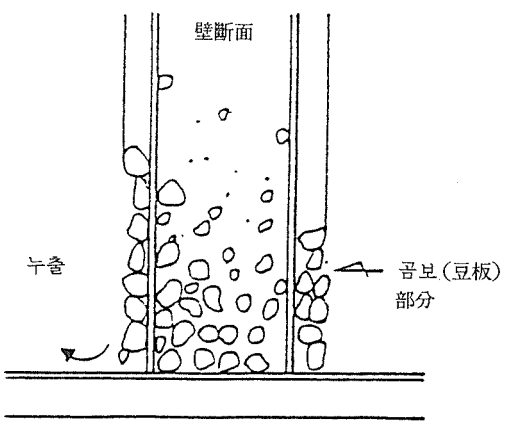
4. Remicon시공 현장에서의 품질관리

4.1 加 水

Remicon공장에서 좋은 품질의 콘크리트를 제조하여도 시공현장에서 加水를 하면 아무런 소용이 없기 때문에 현장 작업자가 加水를 하지 않게 사전에 계약 당시부터 구조물의 특성, 운반거리, 온도등을 감안한 슬럼프를 갖는 배합을 계약하도록 유도를 하며 건축주, 시공자등 구조물에 관계되는 관계자에게 加水에 의한 콘크리트 품질저하를 숙지시킬 의무가 레미콘 관계자에 있는 것이다.

1) 강도불량

加水量에 따라 강도低下는 다르지만 대략 물이 $2kg/m^3$ 첨가된 $7kg/cm^2$의 강도저하를 가져온다. 그러나 강도저하 문제보다는 加水後에 agitator內에서의 혼합이 불균일하여 부분적인 품질 劣化가 더 큰 문제가 된다.



* Honey comb(곰보)

벽면 등의 일부에 조골재가 집중해서 생긴 공극이 많은 불량부분 재료의 분리 또는 다짐의 불충분, 형틀에서의 시멘트 페이스트의 누출 등에 의해 생긴다.

2) 곰 보(Honey comb)

加水에 의해서 材料의 分離가 생겨서 시멘트 페이스트의 누출, 골재의 집중현상이 발생하여 그림과 같이 空隙이 많은 不良部分이 발생한 현상을 곰보라 하여 외관은 물론 構造的으로도 큰 문제를 일으킬 수 있다.

3) 균 열

단위수량이 증가하면 그림8, 그림9과 같이 콘크리트 수축량이 증가되어 균열을 발생시키나 단위시멘트량이 증가하면 수축량 증가는 크게 변화하지 않는다.

즉 콘크리트의 건주수축에 의한 균열을 방지하기 위해서는 단위수량을 적게하는 것이 대단히 중요하며 加水방지 대책은 균열방지에 절대적 조건이 된다.

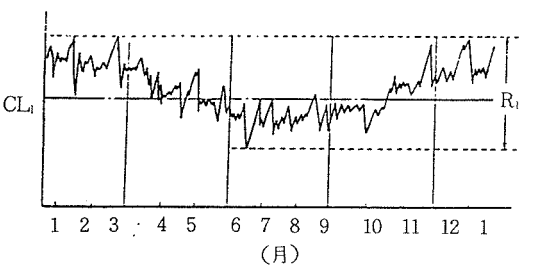


그림6 동일배합으로 출하한 년간 레미콘 압축강도변화

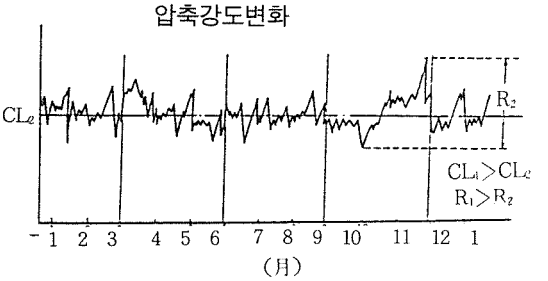


그림7 계절배합 수정을 하여 출하한 년간 레미콘 압축 강도변화

4) 백 화

시멘트가 水和할때 생성하는 수산화칼슘, 알칼리, 황산칼슘등이 물에 녹아 콘크리트 표면으로 이동하고 물은 증발되어 남은 成分들이 대기중의 탄산가스와 반응하여 탄산칼슘, 탄산나트륨, 탄산칼륨 등의 탄산염으로 남아있는 상태를 백화라고로 하는데 白色이기 때문에 콘크리트 미관을 해친다.

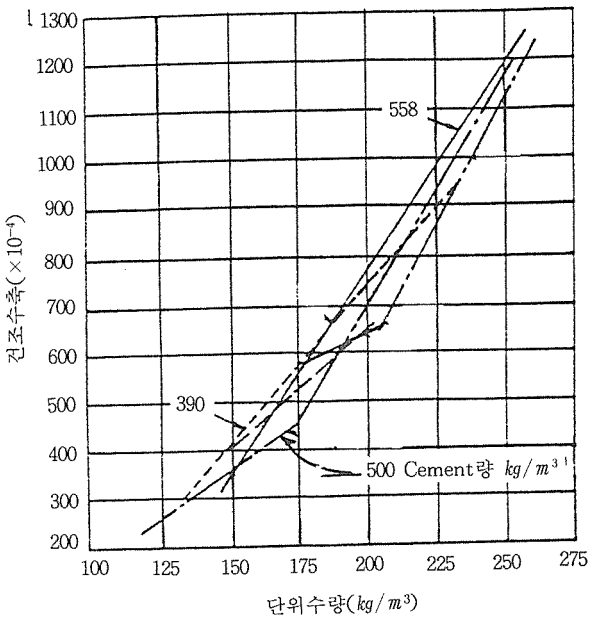


그림8 단위수량과 수축율

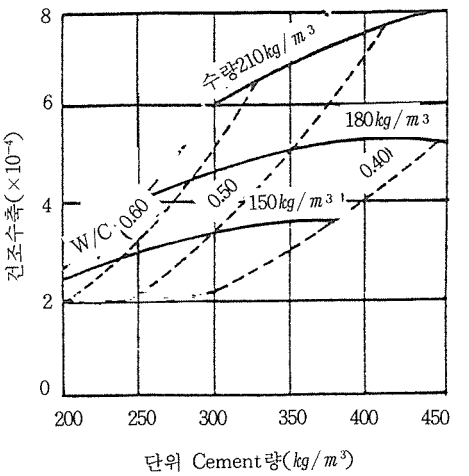


그림9 단위시멘트량 W/C비
단위수량과 수축율

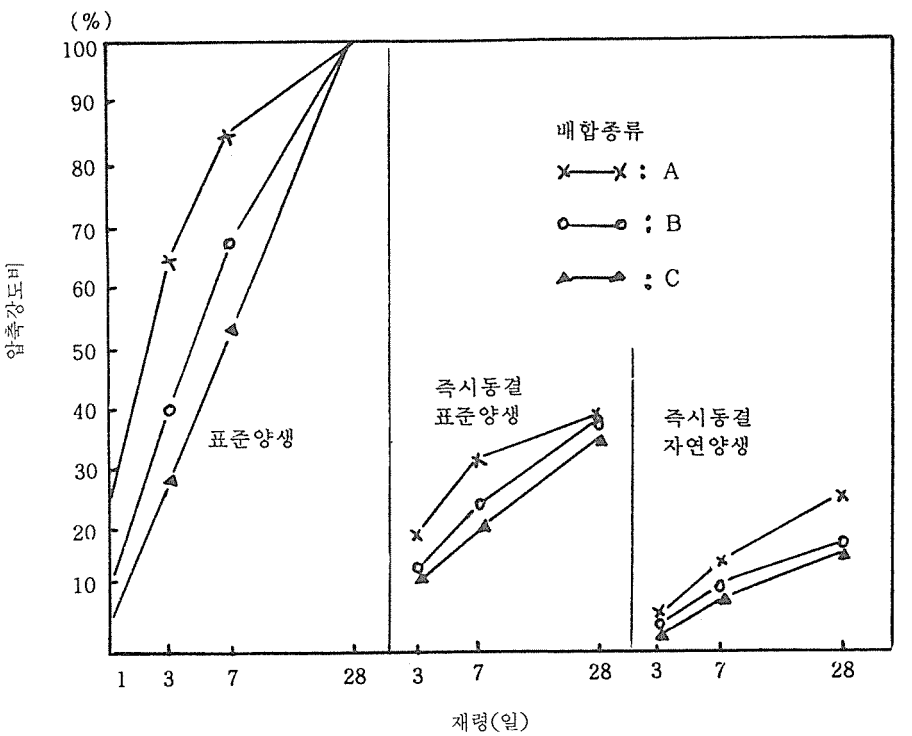


그림10 초기 凍害에 의한 강도저하

백화가 발생하는 여건은 온도, 습도, 풍속등 복잡하지만 궁극적으로 콘크리트가 치밀하지 못하거나 균열등이 있을때 발생되는 것이므로 加水를 방지하여 콘크리트가 밀실하고 균열이 발생되지 않도록 하는 것이 중요하다.

4.2 양 생

1) 강도저하

레미콘이 최종적으로 좋은 평가를 받기 위해서는 시공자가 양생관리를 철저히 할 수 있게 지도를 하여야 한다.

그림10은 배합 종류별로 최저온도 −13℃에서 12시간 방치후에 23℃ 표준 양생한 것과 최저온도 −13℃에서 12시간 방치후에 평균기온 0℃에서 자연양생한 것을 처음부터 표준양생한 것과 비교한 것으로 자연양생의 경우는 10~25%의 강도발현뿐이 안되며 −13℃에서 12시간 동해 피해를 받는 콘크리트를 재차 28일동안 표준양생을 시켜도 25~40%정도 강도발현 뿐이 안되고 있다. 즉 양생이 콘크리트 품질확보에 절대적이며 특히 동절기 초기양생관리가 소홀하면 그림 10에서 보여주는 것처럼 강도가 낮아 거푸집 탈형시 구조물 붕괴 위험마져 있다.

따라서 동절기에는 凍害 피해를 받지 않도록 단열양생을 하여 온도관리를 철저히 하도록 지도 하여야 한다.

2) 초기균열

하절기에 타설된 콘크리트는 초기에 풍속, 온도, 습도등에 영향으로 초기건조에 의한 균열이 발생 될수 있다. 그림 11은 하절기 기후에서 초기 건조균열에 대한 실험결과로써 초기 건조수축에 의한 균열발생은 수분증발이 원인이며 수분증발은 풍속이 크고 온도가 높고 일사를 받을 경우 커지며 이에 따라 수축도가 커져서 균열이 발생하게 된다. 따라서, 하절기 양생관리는 풍속을 줄이기 위해 방풍막을 설치하고, 일사에 의한 온도상승을 막고, Slab 등의 경우는 sheet나 Curing Compound처리하여 수분증발을 막고, Sheet를 씌웠을 경우 살수처리를 하도록 지도를 하여야 한다.

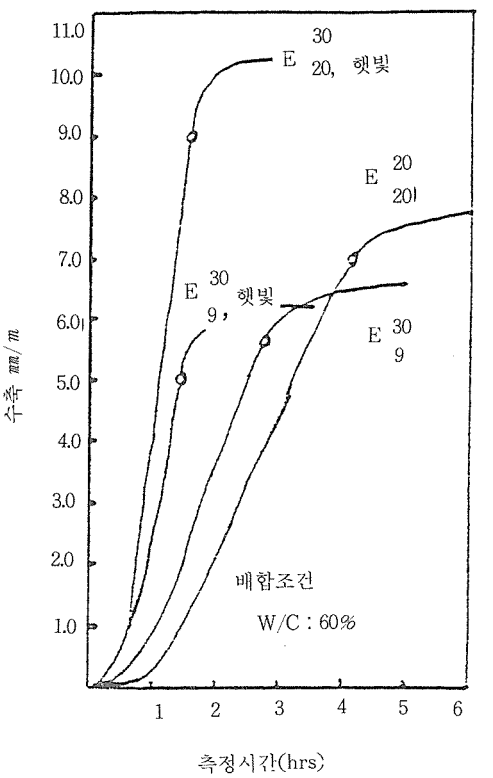


그림11 기후조건에 따른 길이변화
(기호표시− E 온도 풍속, 햇빛)

5. 콘크리트 製造技術의 最新동향

5.1 고강도콘크리트

선진공업국에서는 콘크리트제품의 안정성(내구성) 확보를 위해 고온 고압양생을 이용한 800 ㎏/㎠이상의 고급제품을 개발하여 규격제품으로 생산·판매하고 있으나 국내업계에서는 이런 양생설비를 확보키 위해서는 막대한 투자비가 요구되므로 취약한 제조설비조건에서 주로 300~450㎏/㎠ 이하의 콘크리트 제품만을 생산하고 있다.

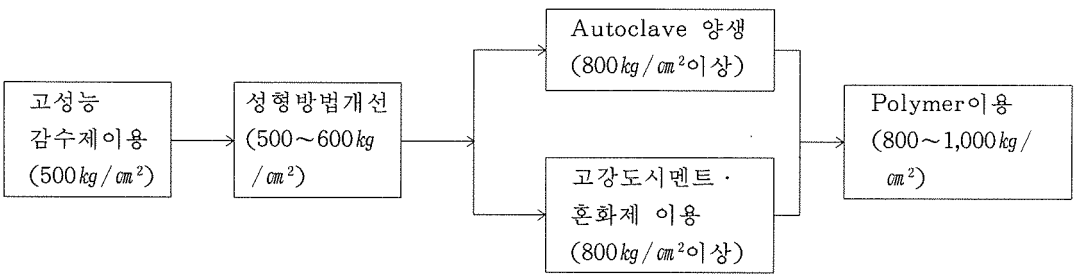
(표-7) 국내외 콘크리트제품현황(1987년도 기준)

구분 \ 제품 \ 품질		블록류	파일, 폴, 흄관, PC빔, PC침목		파일, PC빔
		300 kg/cm² 이하	300~450 kg/cm²	500~700 kg/cm²	800 kg/cm²
구성비 (%)	국 내	60	40	—	—
	일 본	60		10	30
기술 성숙도	국 내	◎	○	△	×
	일 본	◎	◎	◎	◎

◎ 높음 ○ 중간 △ 개발단계 × 개발검토단계

本稿에서는 개발된 고강도시멘트를 이용하여 신설비투자를 하지 않고 고부가가치화 할 수 있는 고급고강도제품(500~800 kg/cm²)을 제조한 사례를 소개 하였다.

2) 고강도콘크리트 제조기술추세



선진외국의 고강도콘크리트 제조기술추세는 위와 같으며 국내업계 실정에서는 고강도시멘트와 혼화제를 이용하는 방법이 현재로써는 가장 적합하다.

2) 고강도시멘트 품질비교

(표-8) 응 결

구분 \ 항목	W/C (%)	응결시간 초결(min)	응결시간 종결(hr)
고강도시멘트	26.0	250	8:30
1종시멘트	24.5	225	8:50

표8, 표9는 보통 1종시멘트와 개발된 고강도시멘트와 품질을 비교한 것으로 보통 1종시멘트보다 1일강도에서는 160%, 28일강도에서는 129%의 강도상승이 발현된다.

3) 흄관제조

국가규격의 국제화 및 고강도추세에 따라 흄관규격은 '90년을 목표로 개정작업이 추진중에 있으며 개정규격(안)에 의한 품질확보는 고강도시멘트를 적용하여 가능하다.

표10, 표11에서 알수 있듯이 현재 사용중인 증기양생 시설에 의한 흄관의 개정(안) 품질확

(표-9) 모르타르강도

구분 \ 항목	압축강도(kg/cm²) W/C(%)	1일	3일	7일	28일	강도대비(%) 1일	3일	7일	28일
고강도시멘트	48.5	130	314	414	483	160	140	137	129
1종시멘트	48.5	81	224	302	375	100	100	100	100

(표－10) KSF 4408개정규격(안) 품질

항목 / 구분	배합조건				철근배근의 Pitch (㎜)	공시체강도 (㎏/㎠)		제품의 균열강도(㎏/m)		개정규격(안) 대비
	시멘트 (㎏/m³)	W/C (%)	S/A (%)	Slump (㎝)		7일	14일	7일	14일	
목표품질 (개정안)	–	–	–	–	–	–	–	3000		–
*고강도시멘트	520	44.2	45	4	30	504	602	2880	3440	약115%
1종시멘트	520	44.2	45	5	30	330	443	2360	2320	약 78%

(표－11) KSF 4403 규격품질검토

항목 / 구분	배합조건				철근배근의 Pitch (㎜)	공시체강도 (㎏/㎠)		제품의 균열강도(㎏/m)		규격 대비
	시멘트 (㎏/m³)	W/C (%)	S/A (%)	Slump (㎝)		7일	14일	7일	14일	
목표품질	–	–	–	–	–	–	–	2000		–
*	520	46.2	45	7	75	330	480	2120	2320	116%
고강도시멘트	520	53.4	45	13	75	293	405	1920	2120	106%
1종시멘트	520	46.2	45	7	75	204	310	1600	1880	94%

보는 1종시멘트로써는 매우 어려우나 고강도 시멘트로써는 가능할 뿐만 아니라 아울러 시멘트량과 철근량감소(Pitch간격증대)도 기대할 수 있다.

4) 철도 PC침목

철도 PC침목의 경우도 마찬가지로 1종시멘트 또는 목표 품질확보가 매우 어려우나 고강도시멘트로써는 가능하며 생산성 향상도 기대할 수 있다.

5) 내구성

표 12는 급속동결융해 시험한 결과로써 상대동탄성계수의 증진을 (150%)로 볼때 고강도시멘

(표－12) PC침목 적용배합 및 특성

항목 / 구분	배합조건				Slump (㎝)	실험실강도(㎏/㎠)				현장강도	
	시멘트 (㎏/m³)	W/C (%)	S/A (%)	유동화제 (㎏/m³)		탈형	1일	7일	28일	7일	28일
목표품질	–	–	–	–	–	380	–	–	550	500	500
주1) 고강도 시멘트	460	35.0	37	6.1	3.5	385	425	555	610	505	555
	470	34.6	37	6.1	3.5	400	435	560	615	510	560
주2) 1종시멘트	510	30.0	37	6.1	4.5	346	408	429	480	386	437

주1) 1일 2교대생산 : 총양생 11hr (전양생, 냉각시간 4hr 포함)
2) 1일 1교대생산 : 총양생 15hr (전양생, 냉각시간 6hr 포함)

(표－13) 시멘트종류별 콘크리트 급속동결융해

항목 / 구분	배합조건				Slump (㎝)	진동주파수		상대동탄성계수 (%)	증가율 (%)
	시멘트 (kg/m^3)	W/C (%)	S/A (%)	유동화제 (kg/m^3)		0회	19회		
고강도 콘크리트	460	35	37	6.1	3.5	2052	1246	37.0	150
1종 콘크리트	510	30	37	6.1	4.5	1964	974	24.5	100

*고강도콘크리트 : 고강도시멘트 사용

(표－14) 시멘트종류별 콘크리트 건조수축

항목 / 구분	배합조건				Slump (㎝)	1길이 변화($X10^{-4}$)				
	시멘트 (kg/m^2)	W/C (%)	S/A (%)	유동화제 (kg/m^3)		수중 1주	기건 2주	2주	4주	8주
고강도 콘크리트	460	35	37	6.1	3.5	+1.63	−0.40	−0.68	−1.63	−2.39
1종 콘크리트	510	30	37	6.1	4.5	−0.45	−2.23	−3.22	−3.94	−4.48

트를 사용한 고강도콘크리트의 동결융해 저항성이 1.5배 높아진다.

표14는 건조수축의 결과로써 고강도시멘트를 사용한 고강도콘크리트의 수축량이 약 47%감수되어 콘크리트 균열방지를 기대할 수 있다.

5.2 流動化 콘크리트

유동화콘크리트는 건조수축의 저감, 브리딩의 감소, 수밀성개선, 수화발열량의 감소, 내구성의 향상등 콘크리트의 품질개선과 펌프압송시의 시공능률의 향상, 공기의 단축, 초기강도발현의 증대, 콘크리트 바닥마감등의 마감시간의 단축등 콘크리트 시공성의 개선을 목적으로 하여 선진 외국에서 주로 레미콘에 많이 사용하고 있다. 이 신기술은 1971년 서독에서 개발된 방법으로 유동화제(고성능감수제)를 콘크리트에 첨가해서 유동화 콘크리트를 제조하여 사용하는 방법이다.

일반적으로 유동화 콘크리트의 製造方法은 다음의 3가지 방식이 있다.

1) 현장첨가방식

레미콘공장에서 운반된 Base 콘크리트를 시공현장에서 Agitator內에 유동화제를 첨가하여 교반하는 방식이다.

2) 공장첨가방식

레미콘공장에서 비빔을 마친 Base 콘크리트에 유동화제를 첨가한후 운반하고 시공현장에 도착후 그 Agitator를 이용하여 교반한다.

3) 공장유동화방식

레미콘공장에서 비빔을 마친 Base 콘크리트에 유동화제를 첨가하고 운반차의 Agitator로 교반한후 시공현장까지 운반한다.

그림12는 유동화제(Super Plasticizer) 혼입율과 슬럼프차와의 관계에서 알수 있듯이 유동화제 혼입율이 증가할수록 슬럼프치가 현저히 증가한, 표15의 압축강도 및 동탄성계수 결과를 보면 적정혼입량까지는 강도향상을 기대할 수

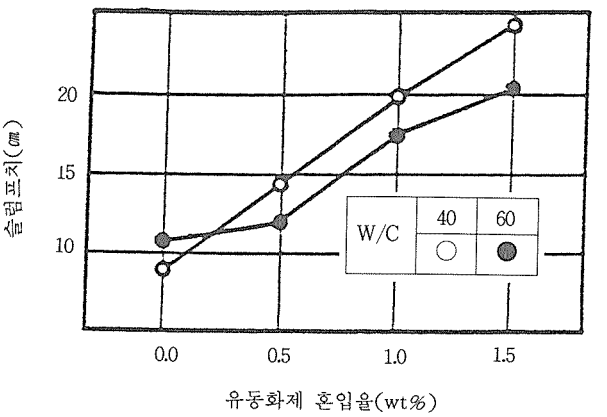


그림12 유동화제 혼입율과 슬럼프치와의 관계

(표-15) 경화콘크리트의 시험결과

W/C (%)	유동화제혼입율 (%)	동탄성계수(X10⁵kg/㎠)			압축강도(kg/㎠)		
		7일	14일	28일	7일	14일	28일
40	0.0	2.75	2.39	3.72	240	281	316
	0.5	3.44	3.46	3.60	264	345	425
	1.0	3.26	3.18	3.60	290	337	386
	1.5	3.51	3.49	3.15	262	312	379
60	0.0	3.02	3.01	3.60	116	182	188
	0.5	2.97	3.14	3.32	149	200	227
	1.0	3.01	2.98	3.22	144	210	215
	1.5	2.84	3.06	3.31	129	183	190

있으나 적정량 이상 첨가하면 강도저하 현상이 보이기 때문에 유동화제 혼입율에 대한 사전 배합검토를 하여 사용할 필요가 있다.

5.3 특수콘크리트

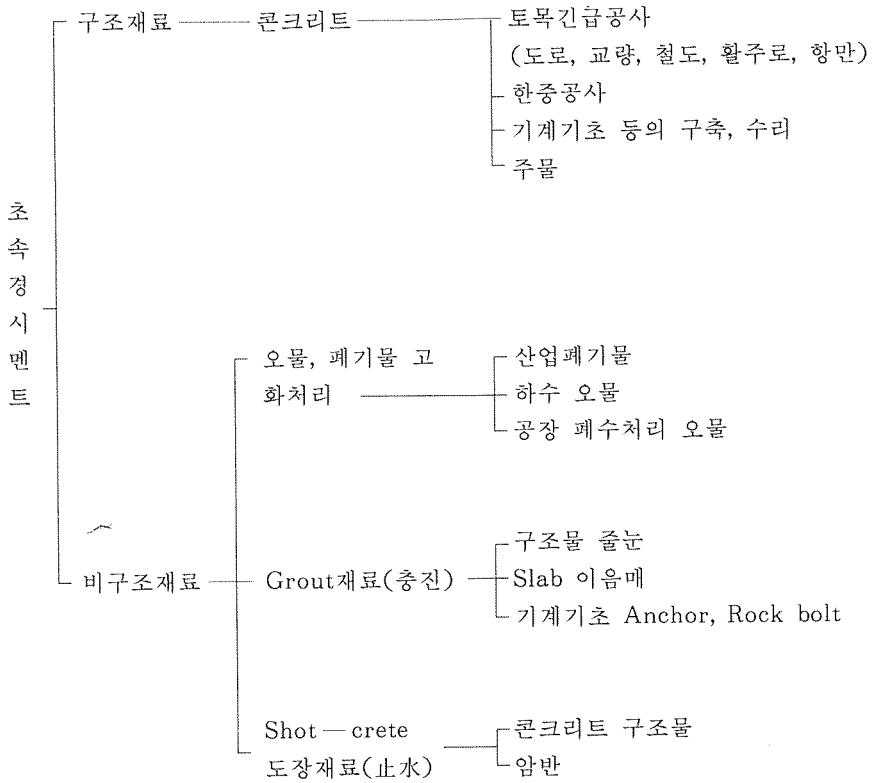
초속경콘크리트는 조강콘크리보다 빠른 시간내에 강도발현이 요구되는 분야에 사용되며 제조방법은 초속경시멘트를 사용하여 제조하는 콘크리를 말한다.

배합에 따라서는 콘크리트 타설후 1시간내에 50~100kg/㎠, 3시간에 200~250kg/㎠의 강도 발현도 가능하며 또한 장기에 있어서도 종래의 보통시멘트와 같은 안정한 강도증진을 나타낼 뿐 아니라 일반적인 물리적 성질에 있어서도 우수한 특성을 나타낸다.

사용 용도는 긴급을 요구하는 공사는 물론 다음과 같이 다양하게 이용된다.

2) 무수축콘크리트

무수축콘크리트는 시멘트의 피할수 없는 최대결점인 수축에 의한 균열을 방지할 목적으로 팽창제를 첨가하여 제조하는 콘크리트를 말하며 수축균열방지 이외에 Chemical prestress가



(표-16) 무수축 콘크리트 용도

구분 / 용도	주 용 도	세 부 용 도
일 반 용	○타설 면적이 크고, 신축줄눈 시공비 부담이 큰 구조물 ○신축줄눈이 구조물의 열화원인인 구조물	○옥상스라브(또는 방수층보호 스라브) ○다리 상판
	○방수(무균열)를 요하는 구조물	○수조(풀장), 사이로, 지하구조물
2차 제품용	○Chemical Prestress용 제품 -고성능화(인장, 곡강도향상) -제품공정 및 형태상 Prestress 공정적용이 불가능한 제품	○고강도 흄관 (내·외압관류) ○Sheet Pile Box Culvert
특 수 용	○피복재료	○강관 라이닝(부식방지용)
	○충진재료	○Grout재 ○강관 기초의 충진콘크리트
	○콘크리트포장	○활주로, 도로보수재
	○현장 Prestress 시공시 Prestress 도입 및 유지용	○현장 고강도 Prestress 콘크리트

(표-17) 각 검사방법별 비파괴 검사 특성요약표

종 류 및 분 류				측 정 대 상 물	측 정 항 목	
					직접측정치	간접측정치
표면타격법	경도법	Williams Testing Pistol법		일반콘크리트 구조물	용수철 직경	압축강도
		Frank Spring Hammer 법				
		Einbeck Pendulum Hammer법				
	반발도법	Schmidt Hammer법	N	일반 Conc. 구조물	반발경도	압축강도
			P	상, 벽		
			L	경량콘크리트		
			M	매스콘크리트		
음향적방법	공진법	종진동법		원주 및 각주형 시편	공진주파수	동탄성계수, 대수 감쇄율
		횡진동법				
		비틂진동법				동전단탄성계수, 포와송비
	음속법	초음파법		모든 시편, 구조물, 주, 상은 물론 댐에도 적용 가능	초음파 Pulse의 전파시간, 반사파의 검출, 투과파의 감쇄상황	종파속도, 결함위치 또는 상판두께
		충격파법		포장콘크리트, 상, 벽 등	콘크리트 표면을 전파하는 충격파의 전파시간	종파, 횡파 속도
		위 상 법		포장 Conc. 등판	횡파 및 종파의 파장	판두께, 레라이파 속도
	Acoustic Emission법			모든 시편, 구조물, 주, 상, 벽 등	재하에 따른 내부의 균열	콘크리트 발생음의 계측

적 용 범 위	장 점	단 점	비 고
품질관리, 강도발현 등	측정이 비교적 용이하고 피측정물의 형, 상크기에 관계없이 적용가능	용수철 직경을 정확히 다수 측정해야 함.	거의 사용되지 않음
품질관리, 강도발현 등	측정이 간편하고 비측정물의 형상, 크기에 관계없이 적용가능	콘크리트 내부품질을 판정할 수 없음	가장 많이 사용되고 있음 (ASTM C 805, BS 4408, DIN 1048, JSTM, AIJ)
품질관리, 강도추정, 내약품, 동해 등에 의한 내구성 지수	시편에 대한 적용결과는 정확하고, 콘크리트의 평균적 성질을 알수 있음. 포와송비를 모르더라도 Ed를 구할수 있음.	피측정물의 형상, 크기에 제약이 있어 현장활용이 곤란	(ASTM C 215, JIS A 1127, KS F2437－82)
넓은범위의 응용은 곤란하나 포와송비가 필요할 때			
실험실적 각종 시험 형장 Conc.의 강도추정, 결함 유무 확인 및 탐상, Conc.의 내부분리, 공동 측정	시편의 형태에 무관하고 대저의 콘크리트 구조물에 적용할 수 있음. 콘크리트 내부의 품질 변화를 알수 있음	조면콘크리트에 적용이 곤란하고, 특별한 준비가 필요. 투과파 높이가 작으면 측정정도가 나쁘고, 측정결과의 정확성은 어느정도 관측자에 의해 좌우됨	초음파법은 잘 이용되지만, 충격파법 및 위상법은 그다지 이용되지 않음.
현장콘크리트 품질판정	조면 콘크리트라도 좋음	넓은면에 제일좋고, 비교적 긴 측정 구간 필요	(초음파속도법 : ASTM C 597, BS 4408, KS F2418－82)
표면층의 동적 성질 조사, 콘크리트 포장판 두께	Ed, Gd도 측정가능	〃	
콘크리트 품질의 추정, 재하이력의 추정	카이져 효과를 이용해서 과거의 재하이력추정 가능	측정이 곤란하고 측정장치가 고가	연구단계

종 류 및 분 류			측정대상물	측 정 항 목	
				직 접 측 정 치	간 접 측 정 치
국부파괴법	관입저항법	Simbi Hammer 법	일반콘크리트 구조물	Pin의 타격에 의한 관입 깊이의 측정	
		Spit Pins법			
		Windsor Probe 법			
	인발법	Pullout 법	〃	사전 매립된 못, 볼트 등의 인발 내력을 측정	
	곡도강법	Break-off	〃	코아상으로 절입시킨후, 곡강도를 구함.	
전기적법	전기저항법		각주, 벽, 상등	전기저항의 측정	
	유전율법			유전율의 측정	
	자연전극전위법			자연전극전위의 측정	
자기법	파코메타법		〃	철근의 존재에 따른 자기 코일의 코일의 전류 변화	
	카비메타법				
방사중성자법	방사선법	X선법	〃	방사선 투과 상황의 촬영	
		r법 Radio-Graphy법			
		r법 Radio-Meter 법			
	중성자법	중성자 함유량 측정법	〃	중성자 감쇄상황의 측정(카운트수)	
		중성자 활성화 분석법			
기타	Micro Wave 흡 수 법		〃	파장 0.3~300㎜의 Micro Wave의 물에 의한 감쇄율의 측정	
	간역투기법		〃	수은주가 160㎜에서부터 190㎜로 회복하는 시간을 측정	

적 용 방 법	장 점	단 점	비 고
압축강도의 추정	측정이 비교적 용이	화약을 사용하므로 위험하고 시험후의 보수 필요	(ASTM C 803)
압축강도, 인장강도의 추정	강도추정 정도가 비교적 좋음	콘크리트 타설전에서 사전 준비가 요구되고, 시험후의 보수필요	(ASTM C 900)
압축강도의 추정	직접강도 시험을 함.	코아를 절취하므로 후의 보수필요	
콘크리트 두께 · 밀도 · 함수율 등의 측정	측정은 비교적 용이하고 동일 장소에 반복 측정 가능	측정정도가 좋지 않음	몰탈수분계 등이 있음
철근부식상태 추정	〃	〃	연구단계
철근탐사	측정은 비교적 용이하고, 동일 장소에 반복 측정가능	철근이 많을 경우의 탐사 및 깊게 삽입된 철근에는 적용 곤란	꽤 넓게 실용되고 있음.
철근두께, 위치, 그라우트의 충진도, 콘크리트 공동등의 결함탐상	콘크리트 내부상황의 직접 관찰 가능	방사선에 의한 위험이 따르고, 장치가 고가	방사선, 중성자의 취급에 제한이 있고, X선법 이외는 거의 사용하지 않음
함수율, 단위시멘트량 추정	측정정도가 비교적 좋음	위험이 따르고, 장치가 대형	
함수율 측정	측정이 비교적 용이	추정정도는 반드시 좋은 것이 아님	연구단계
투기성 추정	〃	측정치 분산이큼	연구단계

(표-18) 콘크리트 내구성 조사방법

	방 법	진단기술(결과)	적용장비
1 차 진 단	○Visual Inspection	○구조물개요 ○1차 열화상태	○Camera
	○Chemical	○콘크리트 조합추정 (성분분석) ○조직관찰(변상도) ○중성화(잔존내용년수) ○염해도	○SEM & EDAX ○DT-TGA ○XRD ○XRF ○Etc.
2 차 진 단	○Non-destructive -반발경도법 -초음파속도법 -공진법(시험실) -Core test (Semi-destructive)	○강도추정 ○Integrity & Uniformity ○열화부위 추정 ○균열깊이 ○동탄성계수	○Schmidt Hammer ○PUNDIT ○Sono-meter ○Core Boring
	-Impact Echo	○내부결함 탐상	○Digital oscilloscope & Computer analyzer
3 차 진 단	○Load Test (Strain Gauge)	○내하력(안전성평가) ○잔존내용년수	○Wire strain gauge set

가능하므로 2차 제품용에도 사용되며 사용용도는 표16과 같다.

6. 콘크리트 내구성 조사의 최신동향

콘크리트 구조물은 점차 고층화, 대형화등의 다양화 추세에 있으며, 이에 따라 효율적인 공사진척 수행을 위한 시공안정성 점검, 설계대로의 시공여부 판단의 비파괴에 의한 내구성 조사기술이 중요하게 되었다.

또한 기존구조물의 열화상태 진단에 의한 안정 및 건전성 점검, 해체여부 결정등의 내구성 조사 기술력이 절실하다. 현재 레미콘에서는 소비자 불만의 대체 방안으로 슈미트 함마에 의한 강도측정등의 일부분만 적용하는 초보단계에 지나지 않지만 앞으로 고도의 내구성 조사 기술력을 레미콘에서도 습득할 필요성이 있기 때문에 本稿에서는 측정실험 사례 및 선진외국 최신동향을 소개하고자 한다.

6.1 내구성 조사방법

표17은 현재 이용되고 있거나 선진외국에서 연구개발중인 비파괴검사 방법을 요약한 것인데 내구성조사 중에 2차진단에 속한다. 비파괴검사가 콘크리트 내구성 진단에 가장 핵심기술이 되며 해당구조물에 대한 대부분의 결론을 내리게 된다.

표18은 당소에서 연구개발중인 콘크리트 내구성조사 방법인데 1차진단, 2차진단을 동시에 조사하여 대부분의 결론을 3차진단에 의해 최종결론을 내리게 된다.

6.2 비파괴검사에 의한 강도측정

그림13은 콘크리트 벽체에서 초음파속도를 측정하여 예상강도를 환산한 것으로 콘크리트 구조물의 강도분포상태를 알 수 있으며 열화된 부분을 찾아 낼 수 있다.

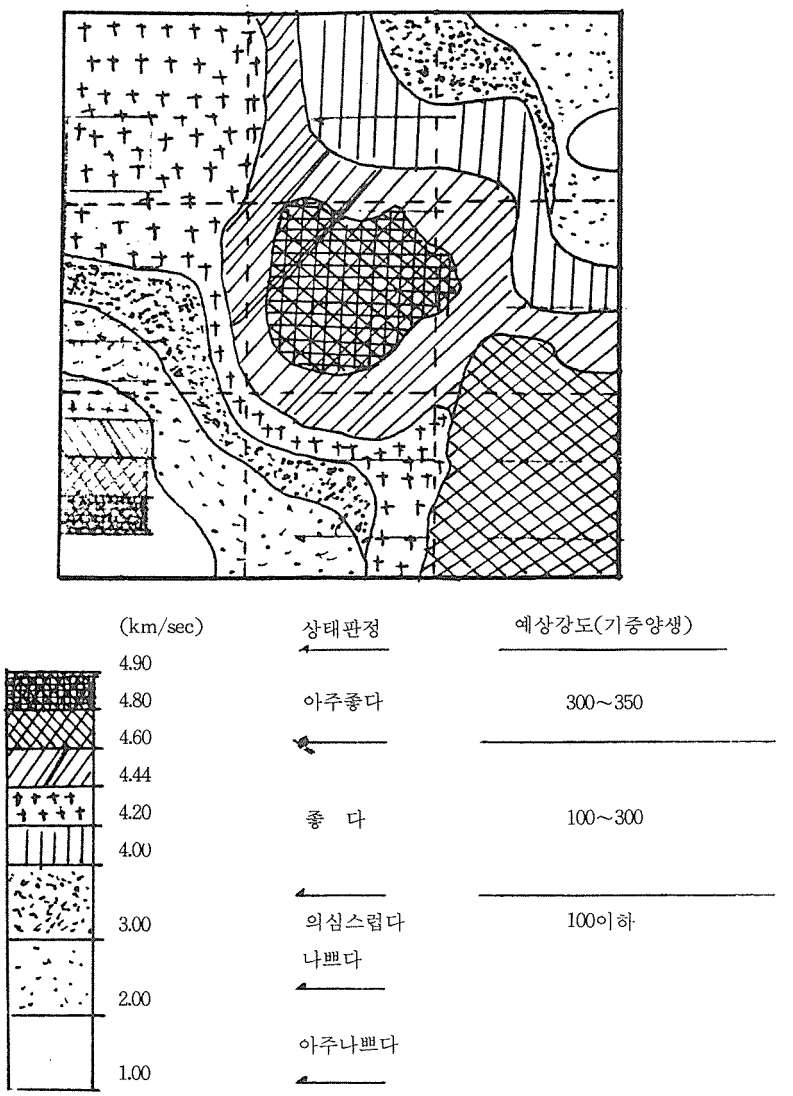


그림13 강도 열화부분추정을 위한 초음파속도 측정치의 등고선 및 상태판정 기준

6.3 비파괴검사에 의한 균열깊이 측정

콘크리트 표면부분에 나타난 균열을 보고 균열부분을 파괴하지 않고 그 깊이를 초음파 측정방법에 의해 측정한 사례가 그림14, 그림15에 있다.

초음파는 공기를 통하여 전파되지 못하기 때문에 통과 경로에서 균열이나 공극이 존재하면 波는 결함 주위를 우회하게 되어 결국 Path-length가 늘어나 전파시간은 길어지게 된다. 따라서 결함이 있는 재료는 정상재료보다 초음파 속도가 감소하며 이러한 원리를 이용해 콘크리트 표면으로부터 수직 발생된 균열깊이는 초음파 전달시간을 측정하여 관계식에 적용하므로써 알아 낼 수 있다.

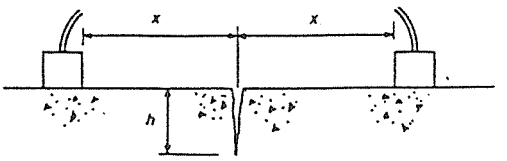


그림14 균열깊이의 측정

그러나 실제 구조물의 골재크기, 철근직경 철근의 배근상태등 복잡한 요인이 많기 때문에 비파괴검사 방법에 의한 콘크리트 내구성 확인은 계속적인 연구가 필요하다.

7. 結 言

레미콘 産業이 他産業分野의 技術發展에 비해 뒤떨어져 있는 것은 부인할 수 없는 현실이다. 콘크리트 産業은 他産業分野보다 시민의식 수준이 많이 작용하는 것은 레미콘 종사자라면 잘 알고 있는 사실이다.

지금 우리나라에서 일고 있는 民主化, 선진화에 걸맞는 시민의식 수준도 높아질 것으로 확산되며 이것이 곧 레미콘 産業에도 큰 영향을 미칠 것이다. 더구나 새로운 形式 그리고 大形化된 構造物의 建設이 늘어나고 있기 때문에 설계자, 시공자는 構造物의 所要性能에 적합하고 施工技術에 알맞는 多樣한 성능의 콘크리트를 요구할 것이며, 이에 따라 콘크리트의 役割은 더욱더 확대될 것이고 責任 또한 더 무거워질 것이다.

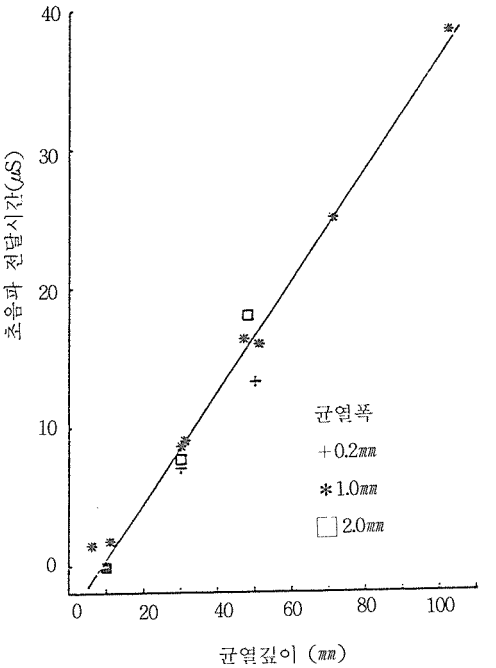


그림15 균열깊이와 초음파 전달시간관의 관계

그러므로 더 높은 品質特性, 品質水準의 必要로 하게 되며 또한 新技術을 適用하거나 개발해야 하고 新材料를 적절하게 이용하지 않고는 이에 부응하기 어렵다고 생각된다.

따라서 레미콘 종사자들은 社會的인 役割에 대한 自負心과 責任感을 갖고 미래 지향적인 콘크리트 技術向上과 新技術 開發에 힘써야 할 것이다. *