

레디믹스트콘크리트의 문제點分析과 그 對策에 대한 考察

本稿는 11월 8일 當協會가 主催한 「레미콘品質向上을 爲한 세미나」에서 漢陽
大土木工學科 文翰英博士가 主題發表한 內容을 拔萃, 要約한 것이다.

〈編輯者 註〉

目 次

1. 머릿말
2. 레미콘 제조운반에 따른 物性的 檢
토 및 문제점에 대한 고찰
 - (1) 위커빌리티에 영향을 미치는 요인
에 대하여
 - (2) 공기량에 영향을 미치는 요인에 대
하여
 - (3) 블리딩에 영향을 미치는 요인에 대
하여
 - (4) 초기균열에 영향을 미치는 요인에
대하여
3. 경화한 콘크리트의 품질에 대한 검토
및 문제점에 대한 고찰
 - (1) 레미콘의 강도에 대하여
 - (2) 경화후의 균열에 대하여
4. 콘크리트의 경화불량현상에 대한 고찰
 - (1) 경화불량현상에 대하여
 - (2) 콘크리트의 표면경화불량에 대하여
5. 맺는말

1. 머릿 말

우리나라의 레디믹스트 콘크리트 산업은 1965
년 대한양회가 서울의 서빙고 공장을 준공한 이

후, 1984년 5월말 현재 45개 회사에 96개 공장
이 가동되고 있다고 하며, 1983년도에는 레디
믹스트 콘크리트(레미콘으로 약함)의 생산실적
이 약 1,500만m³에 달하는 발전을 하였다.

레미콘 관련 한국공업규격은 1967년 11월에
제정되었으며, 1984년 6월 현재로 KS 표시 허
가공장이 전국에 71개 공장이나 있다고 한다.
우리나라는 레미콘 산업이 본격적으로 보급된
역사가 비교적 짧은 탓으로 質的인 발전에 비하
여 質的인 면에서의 발전은 그다지 눈에 띄지
않는 것 같다.

일본 레미콘 산업의 초창기인 1964년 레미콘
에 대한 불만을 조사한 예를 소개해 보면 첫째,
공급이 원활하지 못한 점 둘째, 슬럼프 값이 불
안정하다는 점 셋째, 레미콘의 양이 부족하다
는 점을 지적하고 있으나 품질에 대해서는 거의
불만이 없는 듯 하다. 레미콘의 품질에 대하여
거의 불만이 없는 것은 공장 생산품에 대한 수
요자의 인식과 지식이 부족한 탓으로 평가할 수
있겠다. 그런데 최근 우리나라에서 축조되는 중
요한 구조물의 경우 레미콘의 품질에 대한 신뢰
문제에 의구심을 나타내며 불신의 소리마저 들
리고 있는 실정으로써 이는 레미콘의 품질문제
뿐만 아니라 중요 구조물에 대한 인식의 변화

라고도 생각되며 품질개선을 위한 좋은 계기가 되는 바람직한 현상으로 생각된다.

주지하는 바와 같이 레미콘은 현장배합 콘크리트와는 달리 배치플랜트에서 믹싱한 콘크리트를 공사현장까지 운반하여 납품하는 특수성 때문에 운반차의 성능과 운반시간에 따라 콘크리트의 품질이 변화하는 문제점이 있다. 그러므로 한국공업규격에 레미콘 운반트럭의 에지테이터 성능과 운반에 대한 규정이 있으며, 믹싱후 타설시까지의 시간을 90분 이내로 규정하고 있다. 그러나 현실적으로 이러한 규정은 교통사정, 현장의 제반 준비상황이나 갑작스러운 기상의 변화 등으로 인하여 잘 지켜지지 않는 경우가 생겨 워커빌리티의 저하, 공기량의 감소 및 재분리현상을 초래하게 되어 품질상의 문제를 야기하게 된다.

본 원고에서는 레미콘 산업에 종사하는 분이나 수요자에게도 도움이 되었으면 하는 기대속에서 문헌 및 자료를 인용하여 레미콘의 품질에 영향을 미치는 요인과 문제점에 대하여 분석, 검토 하였다.

2. 레미콘 제조 운반에 따른 物性的 검토 및 문제점에 대한 고찰

2-1. 워커빌리티에 영향을 미치는 요인에 대하여

(1) 골재의 표면수가 슬럼프에 미치는 영향

굳지 않은 콘크리트의 워커빌리티를 나타내는 대표적인 방법이 슬럼프 시험이라 할 수 있으며, 레미콘의 경우 실제 슬럼프와 지정 슬럼프와는 허용차를 표-1과 같이 규정하고 있다. 레미콘 제조시 사용되는 재료 가운데서 슬럼프값의 변동에 영향을 미치는 요인 중에서 소홀히 다루기 쉬운 골재의 표면수량의 변동에 대하여 고찰하고자 한다.

표 1. 슬럼프의 허용차

지정 슬럼프 (cm)	슬럼프의 허용차 (cm)
2.5	1
5	1.5
8 ~ 18	2.5
19이상	1.5

골재의 표면수의 변동이 슬럼프 및 강도에 미치는 영향에 대한 자료를 정리한 것이 그림-1로서 이 그림속에서 잔골재량과 표면수의 변동량과의 교점을 구하여 우측의 단위수량과의 교점에서 슬럼프값의 증가량과 압축강도의 감소량도 쉽게 구할 수 있다. 일반적으로는 골재의 표면 수량의 변동의 범위가 0.1%이하일 때는 무시할 수 0.5% 이상되면 슬럼프가 2~5cm 정도 변동되며, 강도 또한 5~10% 정도 변동되

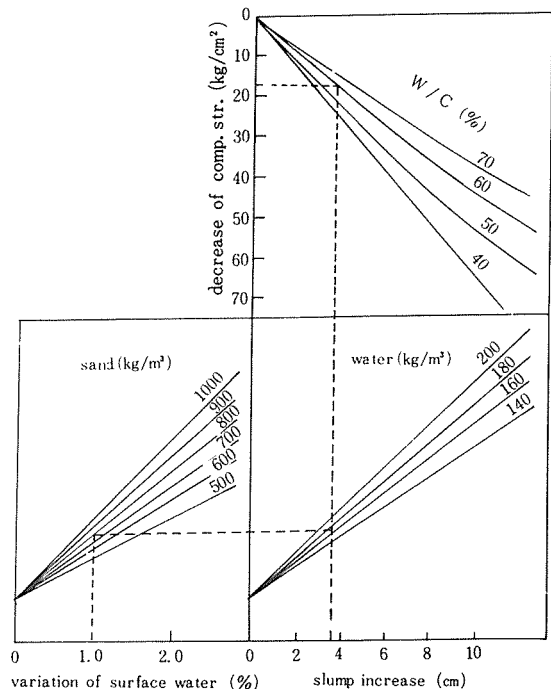


그림 1. 골재의 표면수의 변동이 슬럼프 및 강도에 미치는 영향

므로 주의를 요한다. 특히 잔골재의 표면 수량의 측정과 보정으로는 슬럼프를 일정하게 유지하기가 어려우므로 위치에 따른 잔골재의 표면 수량의 변동이 생기지 않도록 저장관리할 필요가 있다고 생각된다.

(2) 운반시간이 슬럼프에 미치는 영향

레미콘의 운반시간과 슬럼프값과의 관계를 알아보기 위하여 단위시멘트량 270과 312kg/m³ 일때 기온 20~30°C의 조건으로 실험한 한예를 나타낸 것이 그림-2이다. 이 그림에서 규정시간 90분에서 슬럼프가 약 3~4cm, 90분에서 약 4~5cm의 슬럼프가 저하되었다고 한다. 레미콘의 운반시간에 따른 슬럼프의 저하의 정도는 레미콘의 배합, 온도 기온 및 습도 등의 제조건에 따라 매우 상이하며 일정하지 않다.

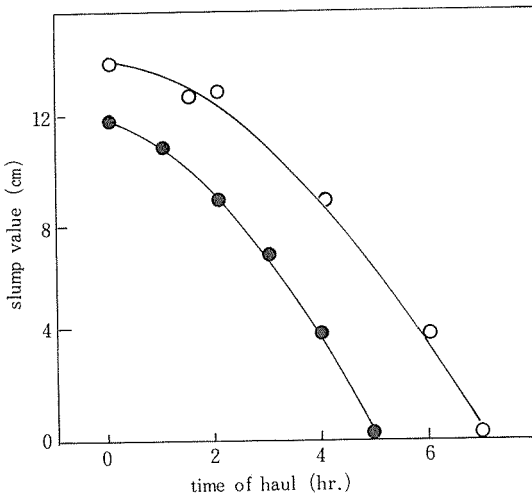


그림 2. 레미콘의 운반시간에 따른 슬럼프값의 변화

특히 여름철이나 운반시간이 90분 정도를 넘는 경우, 된 반죽 콘크리트 또는 혼화제의 종류 등에 따라 슬럼프의 저하가 크게 나타나는 경향이 있으며 슬럼프 저하의 정도는 운반시간 × 온도에 비례한다고 한다.

레미콘의 운반시간에 따른 워커빌리티의 저하 (slump loss) 현상은 시멘트의 初期水和, 콘크리트 표면에서 수분의 증발 및 골재가 수분을 흡수하는 등이 원인이라고 생각된다. 그래서 슬럼프 손실을 줄이기 위한 수단으로 지연제를 사용하므로써 콘크리트의 응결은 지연되지만 슬럼프 저하의 해결에는 큰 도움을 주지못하거나 지연제의 종류에 따라서는 오히려 슬럼프의 저하를 촉진하는 경우가 있다고 한다. 본인은 레미콘의 운반과정에서 저하된 슬럼프값을 배치 플랜의 믹싱 직후의 슬럼프값으로 회복시키기 위한 수단으로 유동화제를 현장에서 첨가하는 방법에 대하여 검토한 바 있다.

이 실험에서 유동화제는 비교적 많이 사용하여도 硬化不良이나 콘크리트의 강도면에는 有害하지 않았으며, 저하된 슬럼프를 회복시키는데 유효함을 알 수 있었다. 그러나 유동화제의 첨가량이 큰 경우 유동화제 첨가후의 슬럼프 손실이 보통 묽은 반죽 콘크리트보다 큰 문제점이 아직도 완전히 해결되지 않고있어 실용화를 위한 연구가 진행중에 있다. 일반적으로 슬럼프의 저하가 예상되는 상황에서는 배치 플랜트에서 믹싱한 직후의 슬럼프가 지정 슬럼프 보다 약간 크게 되도록 관리하는 것도 한가지 방법이라고 생각된다.

2-2. 공기량에 영향을 미치는 요인에 대하여

레미콘의 공기량은 사용재료, 콘크리트의 온도, 배합, 믹싱시간 및 운반시간 등의 요인에 의하여 크게 변화한다.

(1) 사용재료가 공기량에 미치는 영향

시멘트가 콘크리트의 공기량에 미치는 영향을 살펴보면, 시멘트의 분말도가 증가하면 AE제의 양은 증가하며, Mayfield는 시멘트의 비표면적이 3750cm²/g일때 비표면적 2750cm²/g인 시멘트 보다 동일한 공기량을 얻는데 AE제량이 약 1.5배 정도 소요된다고 한다. 일반적으로

AE제의 사용량과 공기량과의 사이에는 직선적인 관계가 있다. 시멘트의 일부를 플라이 애쉬로 대체한 콘크리트의 경우 소요의 공기량을 얻는데 필요한 AE제량을 플라이 애쉬의 품질에 따라서 다르지만 시멘트의 20%를 플라이 애쉬로 대체한 경우 3~5배의 AE제가 필요하다는 실험예가 있다. 그 원인은 플라이 애쉬를 사용할 경우 플라이 애쉬의 未燃素炭素에 AE제가 흡착되어 시멘트풀의 AE제의 농도가 감소되기 때문에 동일 공기량을 얻는데 다량의 AE제가 필요하다고 설명하고 있다.

이번에는 잔골재가 공기량에 미치는 영향을 알아보기 위하여 잔골재를 몇개의 입경으로 나누어 각 입경의 잔골재를 사용한 모르타르의 공기량을 측정할 표-2의 결과를 살펴보면 1.17mm 이상과 0.15mm 이하의 입경에서 공기연행작용은 대단히 적고 그 반이상은 0.15mm~0.6mm의 세립분에 의해 얻어진다고 한다. 그러므로 입도가 틀리는 잔골재를 레미콘에 사용할 경우 시험을 거친 다음 AE제의 사용량을 조정하는 것이 바람직하다고 생각된다.

표 2. 잔골재의 입경별 모르타르의 공기량

잔골재의 입경 (mm)	공기량 (%)
1.17~0.59	15~20
0.59~0.30	30~35
0.30~0.15	45~50
0.15이하	0~1

한편 바순모래를 사용한 콘크리트는 천연모래를 사용하는 콘크리트의 2배 정도의 AE제가 소요된다고 한다.

(2) 콘크리트의 슬럼프가 공기량에 미치는 영향

일반적으로 콘크리트의 슬럼프가 크면 공기량이 증가한다고 하며 이러한 관계를 나타낸 것이 그림 3으로서 슬럼프 4~10cm의 범위에서

슬럼프가 증가하는데 따라 공기량이 증가함을 알 수 있다. 그러므로 소요의 공기량을 얻기 위하여 슬럼프값을 증가시켜 줌으로써 AE제의 사용량을 줄일 수 있다.

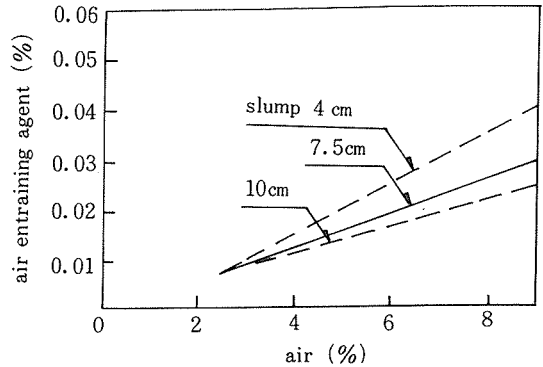


그림 3. 슬럼프에 따른 AE제 사용량의 변화

(3) 콘크리트의 온도가 공기량에 미치는 영향

믹싱후의 콘크리트의 온도는 공기량에 매우 큰 영향을 미친다. 다시 말해서 콘크리트의 온도는 기온에 따라 크게 변화하므로 계절적 영향이 공기량에 미치는 영향은 매우 크다. 일반적으로 온도가 낮을 때에는 동일한 AE제량으로도 많은 공기가 연행되며 온도가 높아질수록 공기량은 감소하게 된다. 그림 4는 Bloem의 연구결과를 나타낸 것으로 21℃의 공기량을 100으로 했을 때 10℃에서 약 40%가 증가하고 40℃에서는 약 30%가 감소함을 알 수 있다. 이러한 경향은 AE제의 농도와 종류에 거의 관계가 없다고 한다. 우리나라와 같이 계절에 따라 기온의 차가 심한 곳에서는 특히 온도에 따라 AE제의 사용량을 조정해야 함은 두말할 필요도 없다.

(4) 콘크리트의 믹싱시간, 운반시간이 공기량에 미치는 영향

콘크리트의 혼합시간이 너무 짧으면 연행공기가 충분히 발생하지 않으며, 너무 길어도 오히려 공기량은 감소한다. 일반적으로 최초의

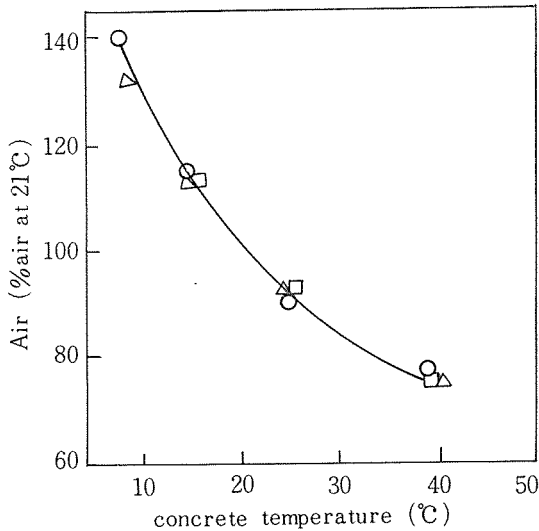


그림 4. 콘크리트의 온도와 공기량과의 관계

1~2분에서 공기량이 급증하여 3~5분에서 최대가 되고 그 이후부터는 배합, 믹서의 종류 및 성능에 따라 다르다고 하며 貧配合, 묽은 반죽일수록 짧은 시간내에 최대 공기량에 도달하기 쉽다.

한편 레미콘의 운반시간에 따른 공기량의 변화를 살펴보면, 新田는 운반시간 90분에서 공기량이 약 0.5~1% 감소한다고 하며, 90분 이후에는 변화가 매우 작은 것으로 나타나며, Hellstrom은 레미콘 공장과 타설현장의 공기량 차이가 약 0.7% 정도라고 보고하고 있다. 우리나라의 공업규격에서는 레미콘의 공기량의 지정 값이 5% 이하일 때는 $\pm 1\%$, 5%를 넘을 경우에는 $\pm 1.5\%$ 범위를 초과하지 못하도록 규정하고 있다. 따라서 공사현장에서 공기량이 이 규정을 만족하도록 하기 위해서는 앞에서 분석 고찰한 제반조건을 충분히 고려해야 하며 공장 출하시의 공기량이 지정 공기량보다 0.5~1% 정도 크게 생산관리하는 것도 한가지 방법으로 생각된다.

2-3. 블리딩에 영향을 미치는 요인에 대하여

한국공업규격이나 콘크리트 표준시방서에서 레미콘의 블리딩과 관련되는 특별한 규정을 따로 두고있지는 않다. 그러나 일본 건축학회의「콘크리트의 배합설계 배합관리 품질검사 지침안」에서는 콘크리트 품질의 정도에 따라 고급 콘크리트의 경우는 블리딩량 $0.3\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 이하, 보통 콘크리트의 경우는 $0.5\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 이하로 규정하고 있다.

블리딩은 콘크리트의 내부구조변화, 콘크리트의 침하에 의한 수평철근과의 부착력 저하 및 철근부식의 위험성, 新舊콘크리트의 부착강도 저하, 바닥 슬래브의 표면 내마모성 불량 및 dust 발생 그리고 침하균열의 원인이 되는 등 유해하다. 묽은 반죽의 콘크리트를 사용하여 높이 3m의 기둥과 벽을 시공한 松井의 실험에 의하면 상부 콘크리트의 강도는 하부 및 중앙부 콘크리트에 비하여 각각 20~30% 및 15~20% 정도 강도가 저하되었다고 한다. 兒玉의 기둥실험에서도 기둥의 상부와 하부의 콘크리트 강도를 비교해 본 결과 상부 콘크리트에 압축강도가 15~20% 저하현상을 나타내었으며 이때 수직철근과의 부착강도도 상부가 하부의 약 50% 정도였다고 한다. 한편 묽은반죽 콘크리트에서 수평철근으로 배치한 부착강도가 수직철근의 부착강도보다 크게 저하된 결과도 있다. 이유로서는 고체입자의 침강, 블리딩에 의해 철근의 아래쪽에 공극을 발생시켜 이 부분의 부착력이 저하되었기 때문으로 설명하고 있다. 일반적으로 블리딩은 콘크리트에 유해하지만 적당한 블리딩은 콘크리트 표면으로부터의 수분 증발로 인한 초기수축균열을 방지하고 콘크리트 표면 마무리 작업시 평활한 면을 얻는데 유용한 좋은점도 있다.

(1) 사용재료가 블리딩에 미치는 영향

시멘트가 콘크리트의 블리딩에 미치는 영향을 살펴보기로 한다. 일반적으로 시멘트의 분

말도가 증가하는데 따라 콘크리트의 불리딩은 감소하며 Higginson은 시멘트 분말도와 불리딩률과의 관계를 나타낸 그림5에서 비표면적이 $2840\text{cm}^2/\text{g}$ 인 시멘트를 사용한 콘크리트는 비표면적이 $3440\text{cm}^2/\text{g}$ 인 시멘트를 사용한 콘크리트에 비하여 불리딩율이 2배 이상되는 결과를 나타내었다. 그러나 혼화제를 사용할 경우 분말도에 따른 불리딩율의 차는 작게 된다고 한다.

콘크리트 불리딩의 일반적인 경향으로는 보통 포틀랜드 시멘트에 비하여 조강포틀랜드 시

멘트, 실리카 시멘트를 사용한 콘크리트는 불리딩량이 작고 중용열 포틀랜드 시멘트나 플라이 애쉬 시멘트를 사용한 콘크리트는 불리딩량이 많다고 한다. 한편 미립분이 적은 잔골재를 사용하면 불리딩은 크게 되며 일반적으로 잔입자가 많은 만큼 불리딩은 작게 된다. 특히 0.15mm보다 작은 입자의 영향이 크고 이 양을 증가시키면 불리딩이 작아진다고 하나 잔골재의 입도가 작게 되지는 않는다고 한다. 부순돌을 사용한 콘크리트는 강자갈을 사용한 콘크리트에 비하여 불리딩이 크지만 AE 콘크리트로 제조하면 그 차는 거의 없어진다고 하는 보고도 있다. 이번에는 혼화제가 콘크리트의 불리딩에 미치는 영향을 알아보기로 한다. 감수제를 사용하므로써 단위수량을 감소시킬 수 있으며 콘크리트를 균일하게 혼합, 타설할 수 있으며 특히 기포효과를 갖고 있는 것은 미세 기포가 물과 시멘트, 모래 중의 泥分의 상승을 억제한다고 한다. 혼화제를 사용한 콘크리트의 불리딩과 시멘트량과의 관계를 나타낸 것이 그림6으로서 혼화제를 사용하지 않은 콘크리트 (plain)의 경우, 시멘트량이 증가하면 불리딩은 감소되고 또 감수제 (P), AE 제 (D)를 사용한 콘크리트에

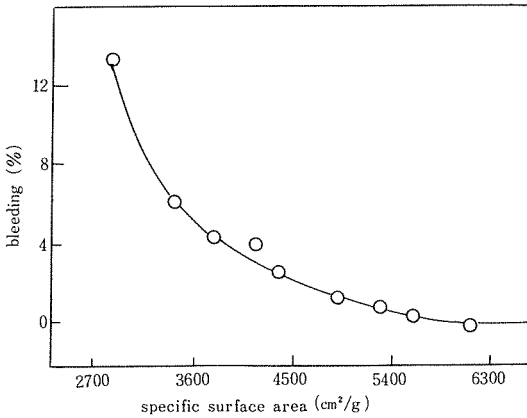


그림 5. 콘크리트의 불리딩율과 시멘트의 분말도와의 관계

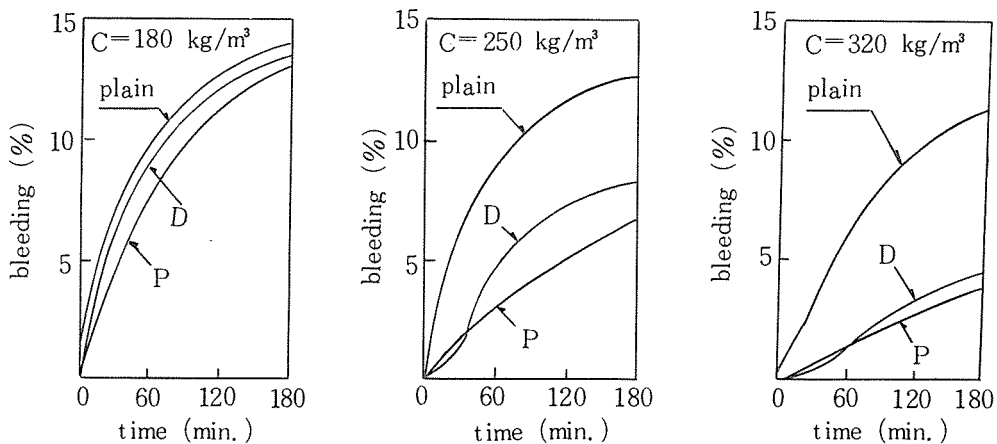


그림 6. 혼화제의 종류와 불리딩량과의 관계(1)

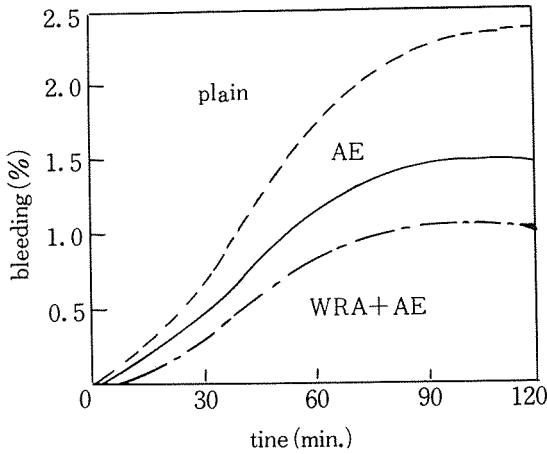


그림 7. 혼화제의 종류와 블리딩량과의 관계(2)

있어서는 시멘트량이 증가하는데 따라서 블리딩에 대한 혼화제의 효과가 매우 큼을 알 수 있다.

그림 7의 실험예를 보면 공기량이 일정할 때 AE제만을 사용한 경우보다 감수제와 AE제를 같이 사용한 경우(WRA+AE) 블리딩은 크게 감소함을 알 수 있다.

(2) 콘크리트의 배합과 블리딩과의 관계

일반적으로 콘크리트의 블리딩은 단위수량이 클수록 단위시멘트량, 잔골재량이 작을수록 크며, 콘크리트의 온도가 낮을수록 크기 때문에 동일한 배합일지라도 겨울철의 블리딩이 여름철보다 크다. 오스트레일리아에서는 잔입자가 부족한 모래를 사용한 콘크리트의 블리딩이 심하여 paraffin wax emulsion을 사용하여 효과가 있었다고 하지만 상품의 품질에 따라 그 효과가 다르다고 한다.

레미콘의 블리딩을 감소시키기 위한 방법으로 분말도가 큰 시멘트를 사용하거나 굵은 골재로서 강자갈만을 사용한다거나 미분량이 큰 잔골재를 사용하는 방법 등은 실질적으로 매우 어렵다고 생각되므로 레미콘의 배합을 최적이 되도록 정하고 감수제 또는 공기연행효과

가 있는 감수제를 적절히 사용함으로써 블리딩을 줄이는데 좋은 효과를 얻을 수 있다고 생각된다.

2-4. 초기균열에 영향을 미치는 요인에 대하여

콘크리트 균열의 발생원인을 크게 나누면 콘크리트의 경화전에 발생하는 초기균열과 경화 후에 발생하는 균열로 분류할 수 있으며 여기서 초기균열에 대하여 고찰하고자 한다.

초기균열은 콘크리트 내에서의 불균등한 침하, 콘크리트 표면에서의 급격한 수분손실, 콘크리트 표면의 경화가 진행되는 동안 내부의 콘크리트의 침하가 동시에 이루어짐에 의한 경우 등으로 나누어 생각할 수 있다.

(1) 침하에 의한 균열

침하균열의 원인으로서는 콘크리트 입자가 아래쪽으로 이동하고 물과 갇힌공기는 浮上하게 되는데 이때 콘크리트중의 철근이나 굵은 골재에 의해 자유로운 침하가 방해되므로써 발생되는 균열과 기초의 침하, 거푸집의 팽창 또는 이동에 의하여 균열이 발생하는 경우로 생각할 수 있다. 그림 8은 수평철근에 따른 침하균열의 발생상태를 나타낸 것이며 그림 9는 단면의 크기가 다른 부재의 경우 콘크리트의 침하량의 차이가 생기므로서 단면이 변화하는 곳에서의 균열을 나타낸 것이다.

침하에 의한 균열은 콘크리트 타설후 1~3시간 정도에서 보의상단부 또는 슬래브면 등에서

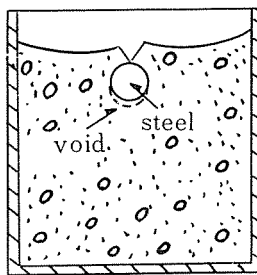


그림 8. 침하균열 (1)

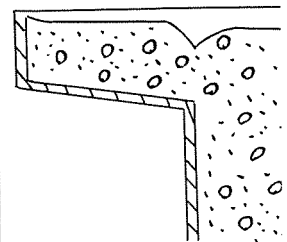


그림 9. 침하균열 (2)

철근의 위치에 따라 발생하며 균열의 깊이는 보통 철근의 위치까지 이른다고 하며, 슬래브 전면에 걸쳐서 불규칙하게 발생하는 경우도 있으며 이런 균열은 폭이 크고 길이가 짧으며 발생 위치와 발생방향에 규칙성이 없다고 한다. 이와같은 균열을 방지하기 위한 대책으로서는 지나치게 묽은 반죽 콘크리트는 피하는 것이 좋고 불균일한 침하를 줄이기 위하여 동일한 반죽질기로 타설하는 것이 바람직하며 기초나 基層(subgrade) 이 타설 콘크리트의 수분을 흡수하지 않도록 미리 물을 가하여 습한상태를 유지하는 등 시공상의 세심한 주의가 필요하다고 생각된다.

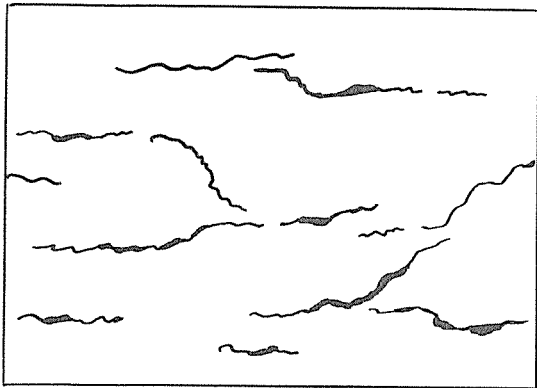


그림 10. 플라스틱 수축 균열의 예

(2) 플라스틱 수축에 의한 균열

콘크리트 타설시 또는 타설 직후의 표면의 급속한 수분의 증발로 인하여 수분이 증발되는 속도가 콘크리트 표면의 불리딩 속도를 초과할 때 콘크리트 표면에 미세한 균열이 생긴다고 한다. 이를 플라스틱 수축 균열이라 하며 콘크리트 표면에 수분의 증발속도는 기온, 습도, 풍속, 콘크리트의 온도 등에 의하여 영향을 받는다. ACI Manual 에서 증발속도를 그림:11로 추정할 수 있도록 추천하고 있으며 증발속도가 시간당 약 1 kg/m^2 에 달하면 균열발생의 위험성이

있다고 한다.

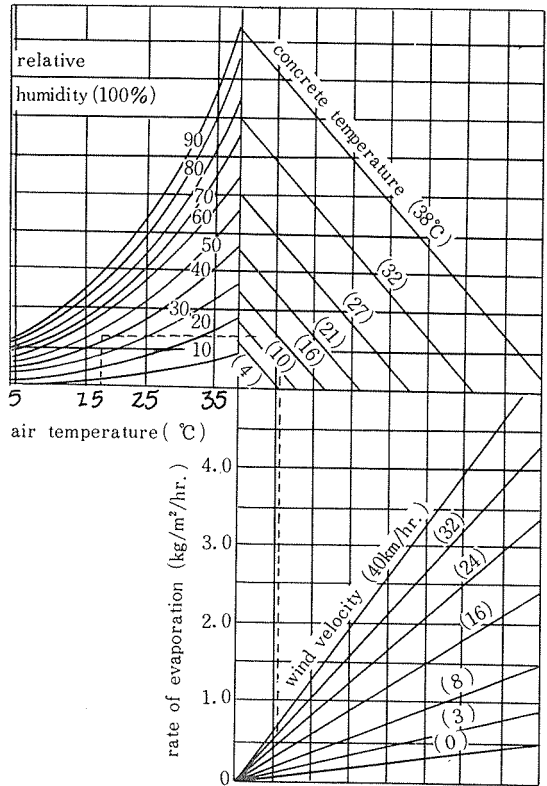


그림 11. 콘크리트 표면에서의 수분 증발속도의 추정을 위한 참고도표

콘크리트 표면의 급속한 수분손실로 인한 균열을 방지하기 위한 방법으로 다음과 같은 조치가 효과적이라 생각된다. ① 기온이 높을 경우 콘크리트의 온도를 낮추어 줄 것... 혼합수의 온도를 낮추고 골재를 덮어 직사광선을 막으며 물을 뿌려준다. 그리고 거꾸집과 콘크리트를 타설할 기층 부분을 그늘지게 하며 신선한 시기를 선택하여 타설한다. ② 콘크리트 표면에 풍속을 줄일 것... 바람막이 벽을 설치하고 가능하면 벽이 축조된 후 바닥 콘크리트를 친다. ③ 콘크리트 표면의 습도를 높여줄 것... 콘크리트 표면에 분무 또는 커버를 씌워 주며 콘크리트

표면에 양생제를 살포한다.

(3) 기타 원인에 의한 균열

레미콘의 균열발생빈도는 현장배합 콘크리트와 비교하여 크다고들 한다. 그래서 콘크리트의 혼합시간과 초기수축과의 관계를 조사한 것이 그림.12이다. 이 실험결과를 보면 혼합시간이 길 경우 초기수축도가 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 그러므로 레미콘의 운반 시간의 단축은 초기수축균열의 방지에 도움이 된다고 생각된다.

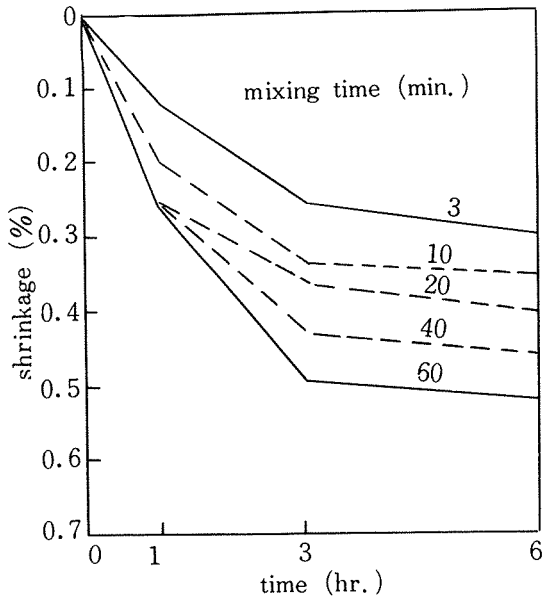


그림 12. 혼합시간과 초기수축도의 관계

초기에 발생하는 균열은 위에서 열거한 원인 이외에도 시멘트의 異常凝結, 異常膨脹에 의한 경우와 부적당한 콘크리트 표면 마무리 작업에 의한 網狀균열 (craze crack) 등이 있다. 시멘트의 異常凝結에 의한 균열은 방향성이 없고 폭이 크며 길이가 짧은 것이 특징이라고 하며 믹싱 후 30분~1 시간 정도에서 발생되므로 다짐등을 실시함으로써 어느정도 방지할 수 있다고 한다. 그리고 성분적으로 불안정한 시멘트는 경

화의 초기 단계에 異常膨脹을 일으킨다고 하며 그림 13과 같은 짧고 불규칙한 균열이 방사상으로 나타난다고 한다.

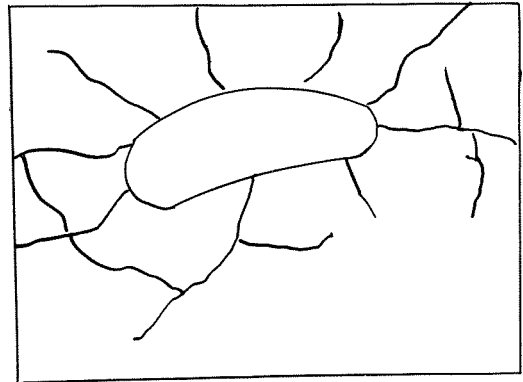


그림 13. 膨脹性的 균열

한편 網狀균열은 초기재령에서 그림 14와 같은 6각형 모양으로 발생한다고 하며 그 일차적인 원인은 부적당한 표면마무리에서 생긴다고 한다. 그래서 콘크리트의 표면마무리 작업이 지나치면 오히려 유해하므로 표면마무리 작업은 적절한 범위에서 빨리 끝내는 것이 바람직하다.

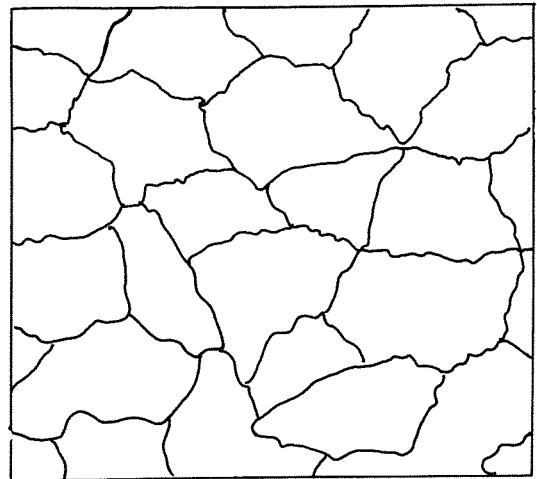


그림 14. 網狀균열의 한 예

3. 경화한 콘크리트의 품질에 대한 검토 및 문제점에 대한 고찰

3-1. 레미콘의 강도에 대하여

한국공업규격에 레미콘의 강도에 대한 다음과 같은 규정이 있다.

첫째, 1회의 시험결과는 구입자가 지정한 호칭강도치의 85% 이상이어야 한다.

둘째, 3회의 시험결과의 평균치는 구입자가 지정하는 호칭강도의 값 이상이어야 한다.

그런데 콘크리트의 강도는 여러가지 요인들에 의하여 변동이 생기는 것은 잘 아는 바와 같다. 콘크리트의 강도에 영향을 미치는 요인 중에서 시멘트의 품질을 먼저 들 수 있겠으며 품질이 안정된 시멘트를 사용해야 하며 계절, 기온 등의 영향으로 시멘트 품질에 변화가 생겼을 때는 레미콘의 배합을 수정할 필요가 있다.

한편 레미콘의 운반시간에 따른 품질을 조사한 실험에 의하면 레미콘의 압축강도는 4시간 정도까지는 운반시간에 따라 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 그 원인으로서 시멘트의 수화과정에서 潛伏期(dormant period)에 있는 콘크리트를 계속적으로 교반을 하게 되면 응집된 시멘트 입자의 일부가 분리되어 물과 접촉하게 되므로 수화작용이 원활해지며 한편으로 수분의 증발, 골재의 흡수에 의해 물시멘트비가 감소되는 등으로 인한 결과로 생각되었다. 그러나 시멘트의 수화과정에서 4시간 정도 이후부터는 C₃S의 수화반응이 활발히 진행되는 시기이므로 교반을 계속하게 되면 응결의 진행을 방해하게 되며 워커빌리티가 불량하게 되어 균일한 구조물을 만들기 어렵기 때문에 강도면에서 해로운 결과를 초래한다고 생각된다. 일부 공사현장에서는 규정의 슬럼프값을 확보하기 위하여 또는 뒤편축일 때 에지테이터 드럼에 물을 추가로 첨가하여 슬럼프값을 높여 타설을 용이

하게 하는 사례가 있다. 그래서 물을 추가로 첨가한 레미콘의 운반시간에 따른 강도의 변화를 알아보기 위해 실험한 한 예를 나타낸 것이 그림 15이다. 이 그림에서 물시멘트비는 슬럼프값을 일정하게 하기 위하여 추가첨가한 수량을 가산하여 구한 것이다. 콘크리트의 강도와 물시멘트비와의 관계에서 물시멘트비가 증가하는데 따라 강도가 감소하는 이유로 압축강도는 앞에서 설명한 증가현상과 상쇄되어 운반시간 4시간 정도까지는 거의 변동이 없었으나 그 이후 운반시간이 지연되는데 따라 강도의 감소폭이 현저함을 알 수 있다. 이 결과는 Brook의 연구와 일치하나 池田등을 보고와는 상이하며 물을 추가로 첨가하는 경우 계속적으로 강도가 감소하는 경향을 나타낸다고 한다. 이는 물을 첨가할 때 에지테이터 드럼속에 물을 투입하여 실험을 실시한 池田의 실험방법과 가경식 믹서를 사용한 그림 15의 실험방법의 차이에 의한 것으로 생각되며 에지테이터 드럼내의 믹싱효율이 좋지않음을 평가할 수 있는 자료로 생각된다. 이상에서 고찰한 바와 같이 에지테이터 드럼에 물을 추가로 첨가하는 것은 품질유지면에서 유해하므로 바람직하지 못하다.

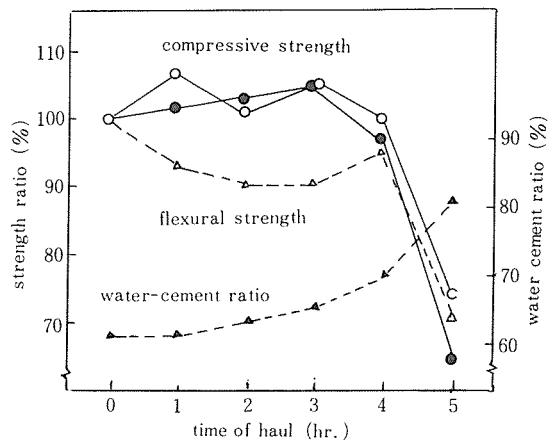


그림 15. 레미콘의 운반시간에 따른 강도의 변화

3-2. 경화후의 균열에 대하여

콘크리트가 경화한 후에 발생하는 균열의 종류는 건조수축에 의한 경우, 알칼리골재반응, 이상 물질의 혼입, 철근의 녹 등의 화학반응에 의하여 일어나는 경우, 熱應力등 콘크리트 내외의 온도차에 의하여 생기는 경우, 구조물의 현상, 配筋上의 응력집중에 기인하는 경우, 하중과다 또는 과격한 기계 진동을 받는 경우, 지진, 충격 등의 우발사고에 의한 경우 등으로 구분할 수 있다. 여기서는 건조수축에 의하여 발생하는 균열을 중심으로 고찰하고자 한다. 경화한 콘크리트는 건조하면 그림 16과 같이 0.05% 정도 수축하며, 단위수량이 큰 콘크리트는 더 많이 수축한다고 한다.

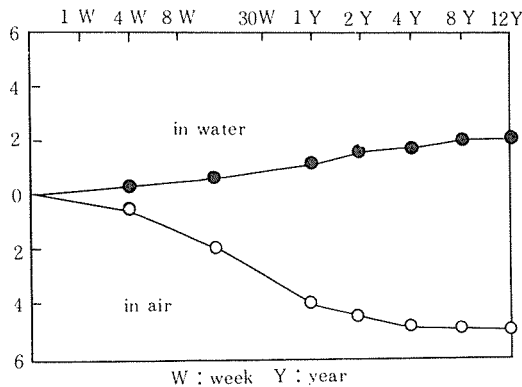


그림 16. 장기재령에서의 콘크리트 길이 변화

콘크리트의 건조수축에 의한 균열은 콘크리트 타설후 2,3개월 정도에서 부터 조건에 따라서는 상당한 기간에 걸쳐 계속 진행된다고 하며 균열의 폭은 0.05~0.5mm정도가 많지만 경우에 따라서는 1~3mm에 달하는 것도 있다고 한다. 콘크리트의 건조수축은 시멘트의 종류, 골재, 배합, 혼화제, 양생조건 등에 따라 달라지며 시멘트의 종류의 따라 건조수축량은 상이하며 일반적으로 시멘트의 분말도가 크게 되면 수축이 증대하는 경향이 있다고 한다. 시멘트의 종류

에 따라 배합비 1:2의 모르타르로 실험한 예가 그림 17로서 이 그림에서 시멘트의 종류와 수축율과의 관계에서 균열에 미치는 영향을 짐작할 수 있다. 한편 Gonnerman에 의하면 시멘트를 구성하는 제광물의 양을 알면 시멘트의 수축량은 다음식에 의해 구할 수 있다고 한다.

$$S = 0.25C_3S + 0.16C_2S + 1.03C_3A + 0.28C_4AF$$

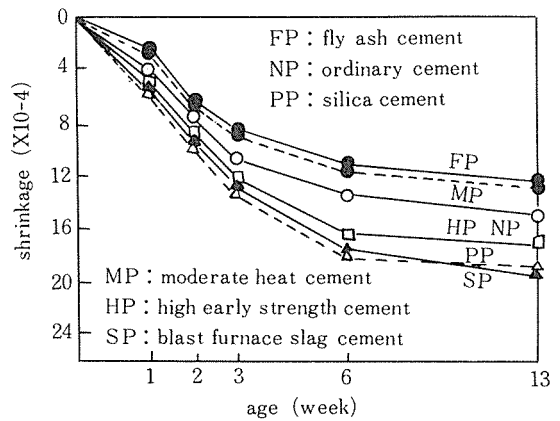


그림 17. 각종 시멘트를 사용한 모르타르의 길이 변화

콘크리트의 수축에 영향을 미치는 요인 중에서 단위수량과 단위시멘트량을 들 수 있으며 이 두 요인 중에서는 단위수량의 영향이 크며 건조수축율과의 관계는 다음의 실용적인 식으로 표현할 수 있다.

$$S = pC + qW$$

여기서 S : 콘크리트의 건조수축율 (×10⁻⁶)

C, W : 단위시멘트량 및 단위수량 (kg/m³)

이 식에서 계수 p 및 q의 값을 표 3과 같이 제안하고 있으나 사람에 따라 실험값의 차이가 있다.

혼화제의 종류가 균열에 미치는 영향에 대하여 고찰해 본다. AE제를 사용하여 콘크리트 중의 공기량을 증가시키면 수축량은 증가하지

표 3. 계수 p와 q의 값

건조기간	시멘트 계수		보 통	조 강	중용열
	p	q			
31주간	p	0.1	-0.3		0.0
	q	4.6	4.9		4.3
최 중	p	0.1	-0.5		0.0
	q	5.3	5.9		4.9

(*) 건조조건은 온도20℃, 습도55%

만 실제로 공기량의 증가에 따라 단위수량을 감소시킬 수 있기 때문에 AE 콘크리트의 수축량은 AE제를 사용하지 않은 콘크리트와 거의 차이가 없다고 한다. 감수제는 그 분산효과에 의해 단위수량을 감소시킬 수 있기 때문에 수축도 작을 것으로 생각되나 주성분에 따라 콘크리트의 수축량이 증가되는 것도 있기 때문에 충분한 검토가 필요하다. 응결촉진제에 속하는 염화칼슘을 사용하면 수축량이 증가하며 많은 양을 사용할 경우 사용하지 않은 콘크리트보다 몇 배로 수축량이 크게 될 위험성이 있다고 한다.

이상으로 경화한 콘크리트의 균열에 대하여 고찰하였으나 발생원인은 무수히 많고 매우 복잡하기 때문에 완전한 대책을 세우는 것은 매우 어렵다고 하겠다. 그러나 균열에 대한 원인분석을 철저히 함으로써 균열발생을 최소화할 수 있다고 생각한다.

4. 콘크리트의 경화불량현상에 대한 고찰

4-1. 경화불량 현상에 대하여

콘크리트의 경화불량현상을 일으키는 요인으로는 유해물이 섞인 혼합수, 혼합제의 사용량 및 시멘트의 화학성분을 들 수 있겠다. 우리나라 콘크리트 표준시방서에서는 콘크리트 반죽

시 사용하는 물은 특별한 맛, 냄새, 濁度 등이 없는 음료수 정도로 깨끗한 물이어야 하며 공장 폐수 등으로 오염된 하천수, 湖沼水, 貯溜水 등에는 황산염, 유화물, 인산염, 붕산염, 탄산염, 아연, 동, 주석, 망간 등의 화합물이나 알카리 등의 무기물 및 糖類, 펄프폐액, 부식물질 등의 유기물이 함유되어 있는데 미량이라도 이와 같은 물을 혼합수로 사용하면 콘크리트의 경화, 강도의 발현, 부피변화, 에플로레센스(eflorescence), 워커빌리티 등에 나쁜 영향을 미치는 수가 있다고 한다.

(1) 혼화제의 사용량에 따른 경화불량

혼합제를 과다하게 사용했을 때 콘크리트의 경화불량 현상이 많이 발생한다고 알려져 있다. 리그닌계 감수제의 사용량에 따른 콘크리트의 응결시간을 Proctor 관입 저항시험으로 측정할 때의 시험결과를 나타낸 것이 그림 18이다. 이 그림에서 감수제를 사용하는데 따라 응결시간이 지연됨을 알 수 있으며 표준사용량(a)의 4 배 정도까지는 응결시간이 현저하게 지연되지 만 일정시간이 경과한 후에는 순조로운 응결을 하고 있다. 그러나 7 배 이상 사용하면 10여일이 지나도록 종결에 도달 하지 않는다.

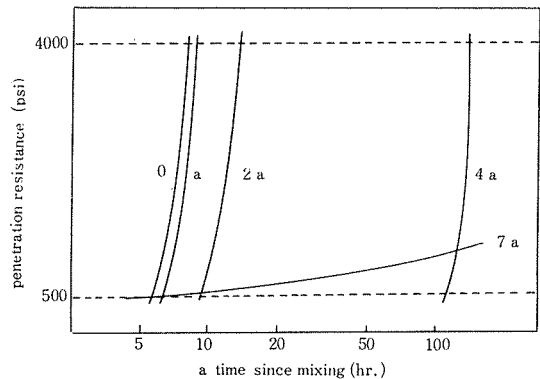


그림 18. 감수제의 사용량과 콘크리트의 응결시간과의 관계

한편 감수제의 사용량과 콘크리트의 압축강도와와의 관계를 나타낸 것이 그림 19로서 표준 사용량의 2 배 정도에서는 강도가 증가하지만 4 배 정도를 넘으면 강도가 현저하게 감소되며 7 배 이상이 되면 91일 강도가 표준 사용량의 3~7일 강도에 지나지 않음을 알 수 있다. 한편 리그닌계 감수제를 사용한 콘크리트가 경화불량을 일으켰을 때는 원인규명을 위한 방법으로 宮原의 紫外吸收스펙트로법에 의한 定量法이 비교적 정도가 높다고 한다.

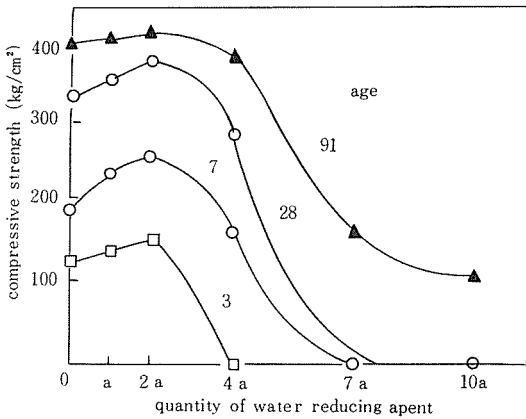


그림 19. 감수제의 사용량과 압축강도와와의 관계

(2) 시멘트중의 SO₃ 함유량에 따른 경화불량

리그닌설폰산칼슘을 주성분으로 한 감수지연제를 과다하게 사용하면 응결경화가 현저하게 지연되는 것은 잘 아는 바와 같으며 이것은 감수지연제의 영향 뿐만 아니라 시멘트의 SO₃ 함유량과도 관계가 있으며 SO₃의 함유량이 적으면 감수지연제를 과다하게 사용하지 않더라도 콘크리트의 응결이 현저하게 지연되는 경우가 있다. Tuthill 은 리그닌계 감수제를 사용한 터널공사에서 있었던 예를 소개하였으며 시멘트중의 SO₃가 1.58%일 때 콘크리트의 응결이 크게 지연되었으나 SO₃ 2%의 시멘트를 사용했을 때는 정상적으로 경화하였다고 한다. Bauset

은 1963년 SO₃가 1.1% 함유된 시멘트를 사용한 범콘크리트에서 응결지연현상이 현저했다고 보고하고 있다. 藤木는 시멘트중의 SO₃ 함유량이 1.0%정도 이하로 되면 감수지연제를 사용하지 않은 콘크리트일지라도 응결이 크게 지연되었다고 한다. 시멘트의 원료가운데 석고(CaSO₄·2H₂O)는 3CaO·Al₂O₃(C₃A)의 急結을 억제하는 작용을 하며, 3CaO·SiO₂(C₃S)의 수화를 촉진하는 작용 때문에 SO₃의 함유량이 어느 정도 이하인 시멘트에 감수지연제를 사용하면 콘크리트의 응결은 크게 지연된다고 한다. 그러므로 異常凝結遲延現象은 시멘트중의 SO₃ 함유량과 C₃S 량이 지배적인 요인으로서 작용한다고 한다. 한편 藤木는 시멘트풀의 응결시간은 Vicat 방법, 모르터의 응결시간은 Proctor 관입 저항시험방법으로 시험하여 비교한 결과를 그림으로 나타냈다. 이 그림에서 시멘트중의 SO₃의 함유량에 따라 두 시험결과가 상반되는 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다. 그 원인은 위의 두 시험방법이 침을 사용하여 관입하는 방법은 같으나 압력을 가하는 힘의 크기가 다른 탓으로 생긴 결과로 생각된다. 다시 말해

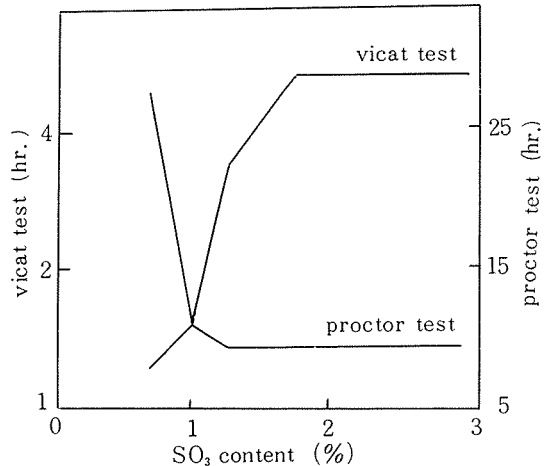


그림 20. 시멘트의 SO₃ 함유량과 응결시간과의 관계

서 콘크리트와 같이 큰 압력으로 응결시간을 측정하는 Proctor 관입저항시험과 시멘트풀의 針入度에 의하여 정하는 Vicat 방법과는 근본적으로 상이하며 Vicat 방법이 시멘트풀의 응결시간을 측정하는데는 유효할지라도 이 시험결과만으로 콘크리트의 응결시간을 추정하는데는 문제가 생길 수 있다고 생각한다.

4-2. 콘크리트의 표면경화불량현상에 대하여

콘크리트의 표면경화불량의 원인은 콘크리트의 탄산화에 의한 경우, bleed water 등에 의한 물이 표면에 상당량 있는 상태에서 표면마무리를 한 경우 및 콘크리트 표면과 목재 거푸집과의 접촉면에서 발생하는 경우 등을 들 수 있다.

(1) 탄산화에 의한 콘크리트의 표면경화불량

冬期工事中 굳지않은 콘크리트가 동결하는 것을 방지하기 위해서 사용한 히터에서 나오는 CO₂ 가스에 의해 탄산화되어 콘크리트 표면이 경화불량을 일으키는 경우가 있다. 그 이유로서 공기의 흐름이 정체되면 CO₂가 대기중에 끌려 퍼지지 않고 바닥 근처에 모이게 되어 굳지않은 콘크리트의 수분과 반응하여 H₂CO₃(carbonic acid)를 형성하고 이것이 Ca(OH)₂와 반응하여 칼슘 실리케이트 수화물과는 달리 CaCO₃(calcium carbonate)로 되어 이 부분의 강도 및 마모저항성이 저하하게 된다. 일반적으로 굳지않은 콘크리트의 탄산화는 타설후 24시간 정도 이내에 국한되는 문제이므로 養生劑(liquid curing membrane) 등으로 타설한 콘크리트 표면을 즉시 보호하거나 CO₂ 가스를 적게 방출하는 히터의 사용이 바람직하다.

(2) 목재 거푸집에 의한 콘크리트의 표면경화불량

목재 거푸집을 사용한 콘크리트 표현의 경화불량현상의 원인을 조사한 필자의 연구성과를 소개한다.

목재 거푸집의 종류에 따라, 태양광선에 노출시킨 목재 거푸집을 사용한 모르터의 표면경화불량 두께를 측정해 본 결과 목재의 종류따라 다소 차가 있으며 태양광선에 노출된 시간이 0~120시간으로 증가함에 따라 모르터의 경화불량 두께가 1.0~2.5mm 정도로 크게 증가함을 알 수 있었다. 목재 거푸집의 유해성분이 시멘트의 알칼리 등에 의해 추출되어 시멘트의 수화를 방해한 것으로 생각되며 목재 거푸집을 태양광선에 노출한 시간이 증가하는데 따라 모르터의 표면경화불량 두께가 현저히 증가함은 자외선에 의해 목재의 성분이 분해 또는 변질되어 시멘트의 수화에 유해한 성분이 다량 누출되기 때문으로 생각되었다. 그리고 건조된 목재 거푸집을 사용하면 시멘트 수화에 필요한 수분이 거푸집에 흡수되어 표면경화불량이 발생될 것으로 예상되었으나 건조된 목재 거푸집을 사용하더라도 표면경화불량이 발생하지 않음을 확인하였다. 부패한 목재를 거푸집으로 사용한 경우에 약간의 표면경화불량현상이 발생하였는데 그 원인으로 부패균이 목재를 화학적으로 변화시켜 시멘트의 수화를 방해하는 요인이 된다고 생각되었다. 한편 콘크리트의 표면경화불량현상을 방지하기 위한 수단으로 태양광선에 장시간 노출된 목재 거푸집 표면을 시멘트풀로 처리함으로써 경화불량두께를 50%정도 감소시킬 수 있음이 확인되었다. *