

○○ 대학 지하주차장 외벽 수직균열에 대한 분석



박 정 민 프로그램특별위원장
(주)티섹구조엔지니어링 소장

1. 서론

의뢰받은 당 project의 균열원인분석은 10여년 전에 작성된 것으로 최근의 철근콘크리트 규정과는 약간의 차이가 있음을 사전에 알려드리며 균열발생 시점은 지하층 외벽의 되메우기 전이며 지하층 외벽에 어느정도 일정한 간격으로 수직적으로 발생한 균열로서 지붕난간에서도 이와 유사한 균열을 볼 수 있다.

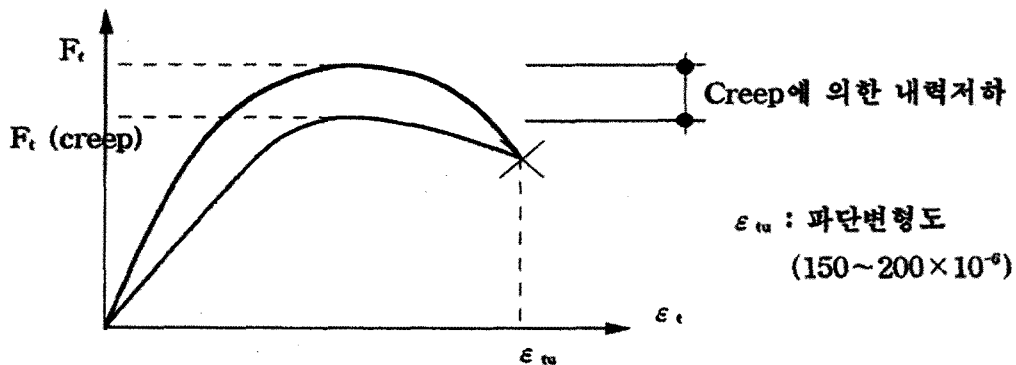
먼저 균열이 어떻게 발생하는지 그 mechanism에 대하여 알아보고 콘크리트가 경화하는 과정에서 건조수축및 온도변화가 미치는 영향과 여기에 더하여 그 구조체를 이루는 골조 전체로부터의 영향을 분석해보고 현장에 실제로 사용되는 레미콘속의 각종재료들을 분석해보고 마지막으로 허용균열폭에 대하여 기술해 본다.

2. 본론

2.1 균열에 관한 구조설계상의 기본

2.1.1 균열의 Mechanism

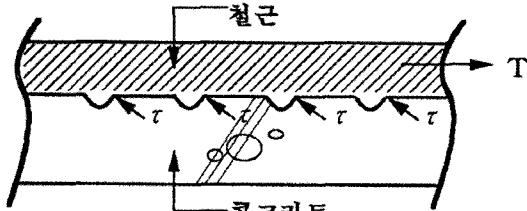
먼저 [그림 1]에서 균열의 매카니즘(Mechanism)을 보면 재하실험등 단기간의 하중 재하시에는 콘크리트의 인장강도 (F_t)도달시 균열이 발생하며 일반적인 상태의 구조물에서는 creep에 의한 내력저하에 따라 F_t creep에서 균열이 발생한다. F_t 의 값은 시험을 통해 알 수 있겠지만 F_t creep 값은 정확히 산정이 불가능하며 각종 시험결과로 추측하건데 대충 F_t 의 0.5 ~ 0.8 정도로 알려지고 있다.



[그림 1] 콘크리트의 인장강도와 인장변형도

2.1.2 균열의 간격 및 폭

보통 콘크리트에 인장력이 발생하는 곳에는 [그림 2]처럼 철근을 배치해 콘크리트와 철근 부착응력(τ)을 이용하여 인장력을 견디도록 한다. 철근에 작용하는 인장력(T)은 철근의 Rib를 통해 콘크리트에 45° 방향의 부착응력과 반응한다.



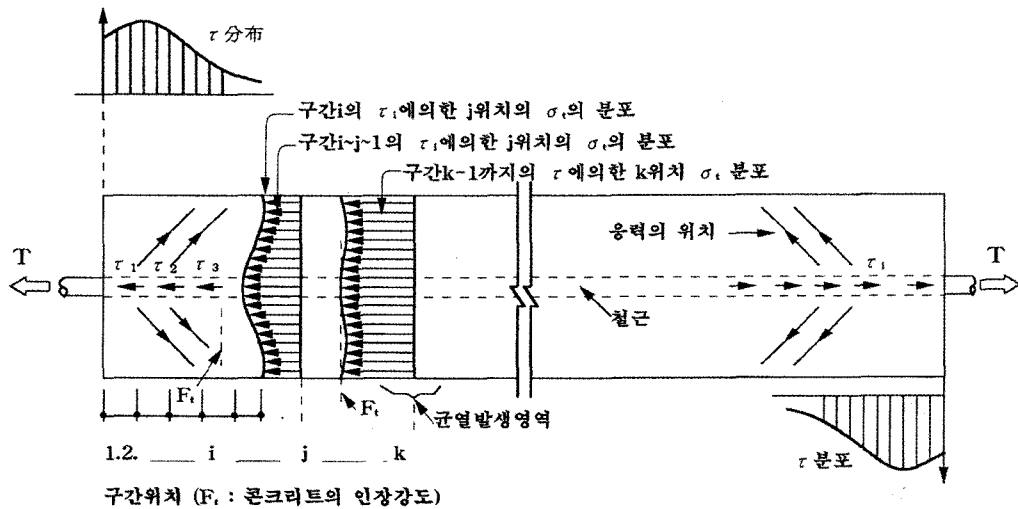
[그림 2] 철근과 콘크리트의 부착관계

[그림 3]에서처럼 $\tau_i (i=1, 2, 3 \dots)$ 는 45° 정도이나 단부에서 안쪽으로 상당히 깊은 곳에서는 등분포의 인장응력을 발생시킨다고 볼 수 있다. 이같이 해서 $\tau_i (i=1, 2, 3 \dots)$ 에 의해 단면에 인장응력이 집적되어, 단부에서 멀어짐에 따라 콘크리트

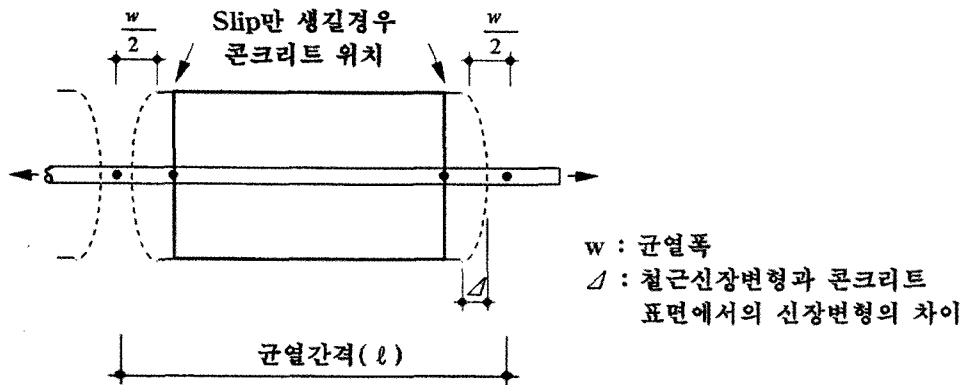
의 인장력은 차츰 증가되다가 어느 지점에 이르면 그 응력이 콘크리트의 인장강도의 크기 (F_t or F_c creep)에 달하여 그 주변의 가장 취약한 부분에서 파단, 즉 균열이 생기는 것이다.

구간 1 ~ K의 거리가 균열간격이 된다. 이같이 K의 위치에 균열이 발생하면 1 ~ K 및 K ~ 우측단부가 새로운 인장재가 된다. 1 ~ K간의 양단부분은 콘크리트의 인장응력이 Zero이고 그 중심으로 향해 새로운 부착응력분포에 의한 인장응력이 생성되어 그 인장응력이 인장강도에 도달하면 1 ~ K간의 거의 중심부에 균열이 생기고 미달하면 1 ~ K간이 최종적인 균열간격이 된다.

균열폭은 균열발생으로 양인장재가 된 양단부(즉 균열지점)에서 콘크리트는 철근에 대하여 SLIP이 생기나 실제로는 [그림 4]처럼 양인장재 구간의 철근의 신장변형과 콘크리트 표면에서의 신장변형의 차이로 나타난다. 따라서 균열단면에서의 철근의 인장응력도를 같게하면 균열간격이 커질수록 (부착상태가 부실할



[그림 3] 양인장재의 부착응력도와 콘크리트의 인장응력발생 및 균열발생



[그림 4] 균열폭

수축)균열폭이 커진다는 것을 쉽게 파악할 수 있다. 또한 철근면적이 같을 경우 부착력이 큰 작은 직경을 사용하여 철근 간격을 좁히는 것이 균열폭 및 간격을 줄일수 있음을 알 수 있다.

2.1.3 소결론

아직 되메우기가 안된상태로 구조설계시 고려한 설계하중이 작용하지 않아 주철근에 대한 도서검토는 의미가 없으며 현 상황의 균열과는 전혀 관계가 없다. 다만 온도철근이 규준상의 최저치(벽단면적의 0.25%)를 만족하고 있으나 좀 더 간격을 좁히고 철근량을 증가할 필요가 있다. 이렇다 하더라도 이처럼 벽체가 길 경우 건조수축 및 온도변화에 따른 균열의 완전 제거는 불가능하다는 것이 다음장에 설명된다.

2.2 건조수축 온도변화에 따른 균열

하중에 기인한 균열에 대하여는 작용응력과 그 결과를 비교적 명확히 관련시킬 수 있으나 건조수축 및 온도균열의 문제는 균열요인의 정량평가가 용이하지 않는데다 그것으로 인하여 발생하는 구속등의 응력이 콘크리트 크리프의 영향을 받으며 이에 더하여 건물 또는 그 주변부재의 구조적 조건이 큰 영향을 끼치므로 정량적인 취급이 어렵다. 이러한 점이 각종 규준이나 지침을 제정하는데 있어 정량적인 취급을 전제로 하는

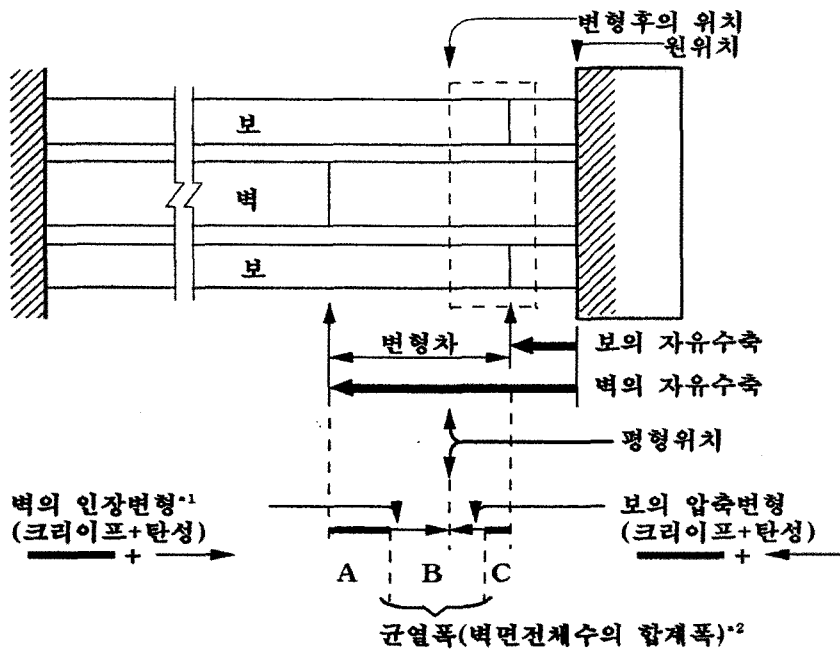
구조설계과정에 포함하기 어려운 중요한 이유인 것이다.

2.2.1 주변부재를 갖는 벽체의 균열

건조수축으로 인한 균열을 이해하기 위한 기본적인 지식은 다음과 같다.

- 1) 콘크리트의 수축을 자유로이 허용하면 어디까지 변형하는가? (자유변형)
- 2) 그 자유변형을 주변의 어느부재 또는 구조체가 구속하는가? (자유변형)
- 3) 구속부재는 어디까지 자유변형인가?
- 4) 벽과 구속부재의 자유변형치는 얼마인가?
- 5) 각 구속부재는 어떻게 관련되어 있는가?
- 6) 구속부재가 벽의 자유변형을 평형 위치까지 되돌려 놓는다. 이로써 벽에는 인장이, 구속부재에는 압축응력이 작용한다.
- 7) 그 응력이 크기는 평형위치까지의 변형량중 탄성변형량으로 결정된다.

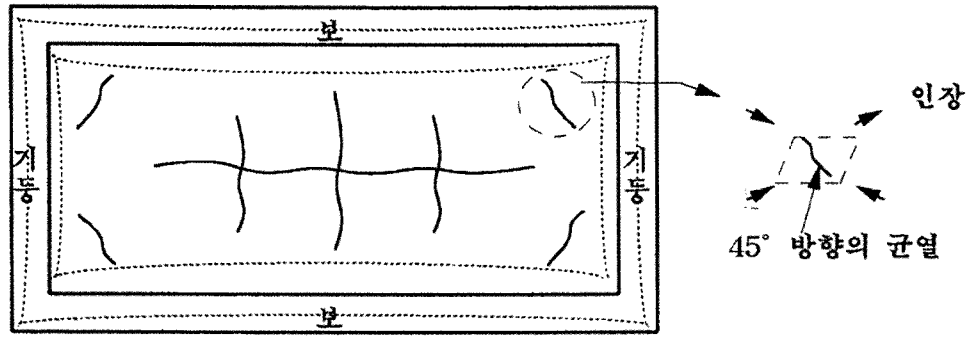
그림 [5-1]에는 그 평형위치에 양자가 정착하게 된 내용을 도식적으로 제시하였다. \overline{AC} 간의 변형차 B점의 평형위치에서 타협한결과 벽은 \overline{AB} 만큼 이끌리고, 보는 \overline{CB} 만큼 압축되어 있다. 이 \overline{AB} 및 \overline{CB} 의 변형량은 크리프(creep)변형과 탄성변형으로 나뉘어지는데 평형의 응력에 관계하는 것은 즉 실제로



*1 : \overline{AB} 의 변형 $> \epsilon_{sh}$ 및 균열발생

*2 : 응력이 모두 해방된 경우의 폭(실제로는 일부만 해당된다.)

[그림 5-1] 벽의 건조수축 균열과 그 메커니즘



[그림 5-2] 주변부재를 갖는 벽면의 건조수축 균열형태

발생된 응력은 탄성변형 뿐이다. 이와같이 해서 발생한 벽의 인장응력이 콘크리트 크리프의 인장장도(F_t , creep) 또는 인장변형도 (ϵ_{tu})에 도달하면 균열이 발생하는데 그때의 균열폭은 해방된 응력의 탄성변형분이다. 즉 벽은 2차원 부재이고 또한 철근도 배근되어 있으므로 발생응력 모두가 해방되는 것은 아니다.

그림 5-2에 나타난 6)항의 평형위치의 변형상태가 파선으로 표시되며 주변 보, 기둥은 굽힘변형은 용이하지만 축방향 변형의 변형은 어려우므로 (강성이 크기 때문에)모서리 부분 변형량은 작아져 이 부분의 벽은 마름모꼴 변형을 하여 45° 방향이 균열이 발생한다.

다음 [표 1]에 이같은 구조체내 벽면의 수직 및 수평균열의 발생에 영향을 주는 요인이 그들 균열발생에 어떻게 관련되는지 정리해 본다.

2.2.2 소 결론

당 project의 경우 벽체의 변형을 구속하는 벽체와 일체된

기둥이나 직각방향의 벽은 없으나 수평적으로 벽체길이가 매우 길고 벽체길이에 비해 층고가 낮아 상당한량의 벽의 인장 변형이 요구되는데, 현재 법적인 최소철근량을 만족하고있어 문제는 없으나 실제로는 최소 철근량의 부착응력을 초과하고 있는 것이다. 이는 이와 유사한 대부분의 지하층건물에서 발견되는 균열형태로 구조적으로 문제는 없다하더라도 내구성에 영향을 주는 요인으로써 철근량의 상향조정이 요구된다. 또한 이에 대한 어느정도 정량적인 산출이 가능하도록 많은 연구가 뒤따라야 할 것으로 사료된다.

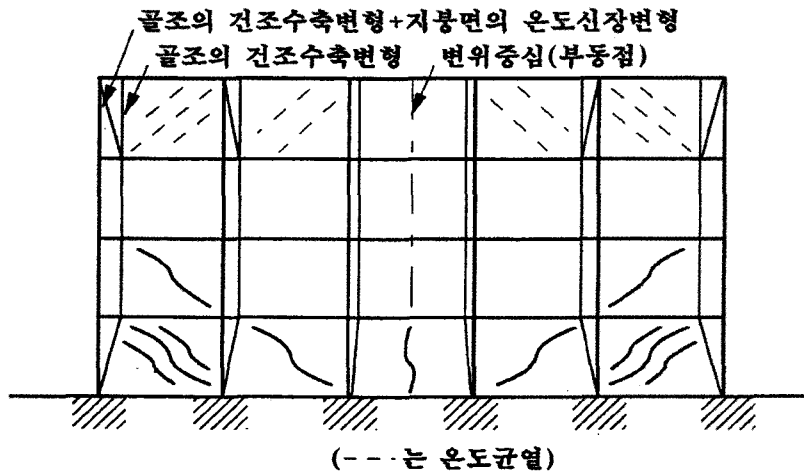
2.3 골조의 변형과 균열

2.3.1 균열요인 분석

전항에서는 하나의 벽체에 대한 건조수축의 영향을 분석해 보았으나 실제건물에서는 거기에서 골조 전체로부터의 영향이 더해진다. [그림 6]에서처럼 전면이 벽이 있는 골조를 분석해 본다. 건물전체로서의 건조수축 및 온도변형의 영향은 각각 건물 최하층과 그 위의 2, 3층 및 최상층에 나타난다. 우선

[표 1] 벽체의 수직·수평 균열의 영향요인

수직균열 발생의 난이		수평균열 발생의 난이	
발생하기 쉬움	발생하기 어려움	발생하기 쉬움	발생하기 어려움
관련요인		관련요인	
	(이유)		(이유)
◎스팬이 크다.	수축변형량이 대 소 작다.	◎스팬이 작다.	보가 구부러짐이 대 소 작다.
○좌우에 벽이 있다.	수축구속 작용이 대 소 없다.	◎상하층에 벽이 있다.	↑
○기둥굵이 크다.	대 소 작다.	○보굵(강성)이 크다.	↑
◎층고가 작다.	기둥이 구부러짐이 대 소 어렵다 쉽다.	◎층고가 높다.	수축변형이 대 소 작다.



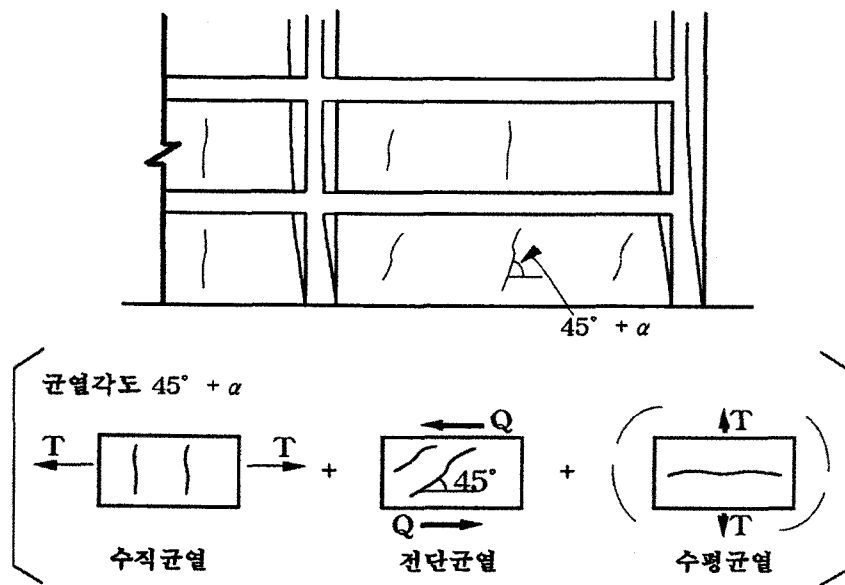
[그림 6-1] 골조의 건조수축과 온도변화로 인한 변형과 벽의 균열

건조수축을 살펴보면 각층의 바닥과 보 및 슬래프는 전향에서 설명한 보와 벽과 같은 수축변형을 일으켜 [그림 6-1]의 파선과 같은 변위상태가 된다. 2층 윗부분은 대부분 평형 이동하는 형식으로 수축하므로 골조로서는 특별한 응력을 발생시키지 않으나 최하층에서는 통상 기초부분은 수축하지 않는다고 보기 때문에 큰 변형차가 생겨 건물의 양단부분 근처의 벽은 강하게 전단변형을 강제당하여 그림과 같은 대각선의 균열이 생긴다. 거꾸로 보와 바닥은 벽 및 기둥에서 외향의 힘을 받아 인장하는 꼴이 되어 보뿐 아니고 바닥의 콘크리트도 이 인장력으로 절단되는 결과가 되기도 한다.

그러나 벽 또는 보의 한쪽에 균열이 생기면 이 힘은 당장 완화된다. 이 건조 수축은 최하층에 발생하는 균열은 역 사자형

으로 흔히 불리운다. 다음에 온도로 인한 균열은 [그림 6-1]의 점선으로 표시된 것처럼 최상층에 생기며 이것은 건조수축인 경우와 거꾸로八字형이 된다. 이 온도균열은 여름철등에 지붕면이 가열되어 온도가 상승하여 지붕바닥이나 보가 늘어나 변형을 일으켜 벽에 외향의 전단변형을 강제함으로써 생긴다. 특히, 지붕이 검정색이거나 최상층이 공조로 낮은 온도를 유지할시 또한 건물 길이가 길 때 크게 나타날 수 있다.

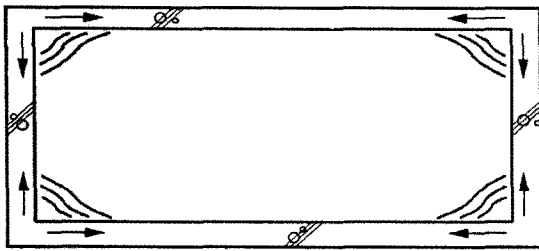
골조내의 벽은 이같은 응력과 전향에서 설명한 각 벽체의 수축에 따른 응력을 동시에 받기 때문에 균열의 방향은 이들 영향이 합성된 것이된다. 그림 [6-2]에는 이것을 나타내는데 수평 균열을 발생시키는 요인은 [표 1]의 요약으로 추측되듯이 수직균열의 그것보다 영향은 작으리라 본다. 따라서 건물 양



[그림 6-2] 벽의 균열의 합성

단부분의 벽에서도 균열의 방향은 45°보다 약간 수직쪽이 될 것이다.

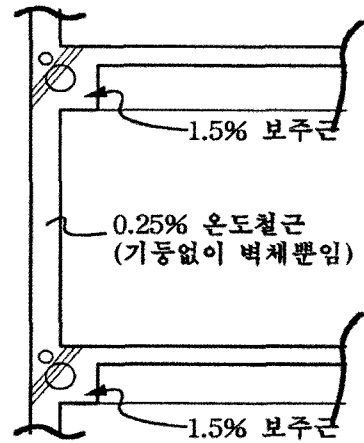
지하층 슬래브에서 모서리부분에 [그림 7]과 같은 균열을 종종 볼 수 있다. 이것 또한 벽체의 건조수축과 관계가 깊다 할 수 있는데, 벽체가 건조수축되면서 모서리슬래브는 인장력을 받게 되 사선방향의 균열이 발생하는데 사선의 각도는 좌우 벽체의 길이, 두께, 철근량, 벽체의 연속성 여부 등에 따라 변할 수 있다. 특히, TOP-DOWN 현장에서 이 현상이 심하게 나타나는데 이는 바닥의 분할타설, slurry wall의 시공여건상 일반 벽체보다 건조수축량 증가, 슬래브내 작업용 개구부의 스틱 증가 등을 들 수 있다.



[그림 7] 슬래브 모서리 균열

2.3.2 소결론

[그림 6-1]처럼 골조 전면(벽체와 벽보)이 수축하는 과정에서도 층 level에서는 [그림 8]처럼 벽보와 바닥 슬래브 및 보들의 구속으로 층 중간(벽체만 존재)의 건조수축량과의 차이가 발생한다. 이 차이가 바로 균열로 나타나며 층 중간에서 가장 먼저 발생하여 층 상하로 발전할 것이다. 즉 벽체의 수직 균열로 나타나는 현상이다.



[그림 8]

수평균열에 대하여 언급하면 수직방향의 수축은 1층바닥이 해방되어 수직이동이 자유로우며 또한 벽체내에 기둥이 없어 벽체 전면에 걸쳐 건조수축량이 동일하여 건조수축 균열을 발견하기 힘들다. 더구나 벽체의 상하방향의 철근은 구조용 주철근으로 상당량 배근되어 있어 벽기둥과 벽체사이의 건조수축량의 차이가 있더라도 충분히 균열발생을 억제할 수 있다.

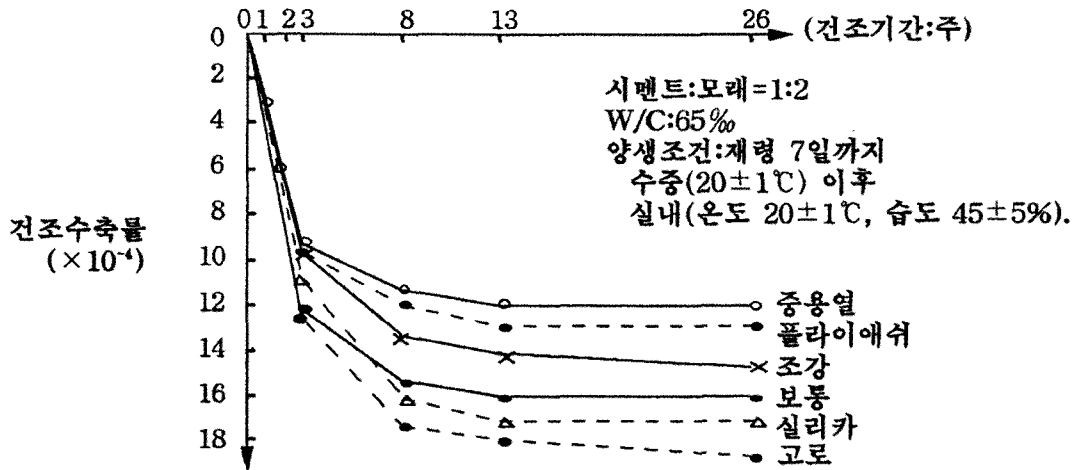
그러나 시공중의 cold joint 등은 발생할 수 있다.

2.4 건조수축에 영향을 주는 재료상의 문제

현장에서 실제로 사용한 레미콘의 상태를 정밀분석할 수는 없으나 재료가 건조수축에 미치는 요인들에 대해 일반적으로 살펴보고자 한다.

2.4.1 시멘트의 영향

시멘트의 종류에 따라 건조수축의 크기가 다르다는 것은 잘



[그림 9] 시멘트 종류와 건조수축의 관계(모르터)

[표 2] 시멘트 종류와 건조수축률(콘크리트)

시멘트의 종류	건조수축률(×10 ⁻⁴)					압축강도(kg/cm ²)		탄성계수(kg/cm ²)
	1週	4週	13週	26週	52週	1週	4週	4週(×10 ⁴)
N 보통포틀랜드 시멘트	2.13	4.82	7.23	8.03	8.55	257	377	2.94
H 早強포틀랜드 시멘트	2.00	4.51	6.94	7.73	8.19	357	429	3.00
M 中庸熱포틀랜드 시멘트	1.79	4.61	7.20	7.90	8.38	190	343	2.84
SR 耐유산염포틀랜드 시멘트	1.38	4.05	6.48	7.22	7.72	165	312	2.92
BA 高爐시멘트(A종)	2.30	5.24	7.45	8.40	9.04	203	380	2.91
BB 高爐시멘트(B종)	2.62	5.70	7.77	8.69	9.41	167	350	2.76
BC 高爐시멘트(C종)	2.91	6.13	7.98	8.92	9.66	148	352	2.70
FA 플라이애쉬시멘트(A종)	1.96	4.63	7.08	7.89	8.40	230	368	2.90
FB 플라이애쉬시멘트(B종)	1.72	4.63	6.99	7.68	8.19	175	310	2.79

알라져 있으며 모르타에 의한 시험결과는 [그림 9], 콘크리트에 의한 시험결과는 [표 2]을 통해 알 수 있다.

[표 2]을 보면 보통 포틀랜드시멘트의 경우 1주 경과후 전체 수축예상치의 25%, 4주후는 56% 정도, 13주후는 85%, 26주후는 94% 이뤄짐을 알 수 있다.

2.4.2 골재에 의한 영향

시멘트와 물을 섞어서 이긴 시멘트페이스트는 건조에 따른 수축이 커 균열이 발생하기 때 문에 그 상태로는 건축재료로 사용하지 못한다. 이 시멘트페이스트의 건조수축의 큰 결점을 개선하기 위해 건조수축이 작은 골재를 콘크리트 용적의 약 70%정도 사용함으로써 건축구조 재료로 적합한 콘크리트가 제조되고 있는 것이다.

이 사실로도 분명하듯 콘크리트의 건조 수축 및 그에 따른 균열에 미치는 골재의 영향은 실로 크다고 할수 있다. 영향을

미치는 요인으로서의 골재의 종류, 골재 원석(原石)의 종류 및 골재의 품질특성을 꼽을 수 있다.

1) 골재의 종류에 따른 영향

세골재의 종류별로 콘크리트의 건조수축에 미치는 영향의 시험결과의 예를 [표 3]에 제시한다. 이에 따르면 세골재의 종류에 따라 건조수축의 값이 다른데 건조수축은 바다모래가 작고 산과 강모래가 커지는 경향을 보이고 있다.

조골재의 영향을 분석해 보면 석회석을 사용한 쇄석, 강자갈 암석의 쇄석순으로 커진다.

2) 원석종류의 영향

쇄석의 제조에 사용되고 있는 주원석으로는 안산암, 경질사암, 석회석등이 있다. 이들을 원석으로하여 제조한 콘크리트의 건조수축 시험결과를 보면 석회석을 사용한 콘크리트의 건조수축이 가장 작고, 또한 산지에 관계없이 거의 일정한 값을 보인다. 이에 비해 안산암 및 경질사암을 사용한 콘크리트의

[표 3] 세골재의 종류에 의한 비교

세골재의 종류	시료수	단위수량(kg/m ³)	건조수축률(×10 ⁻⁴)		집량감소율(%)	
			13週	26週	13週	26週
川砂	9	199	6.80	8.07	3.25	3.57
陸砂	7	203	5.98	6.95	2.86	3.21
山砂	3	193	5.05	6.15	2.61	3.06
海砂	5	205	5.27	6.51	3.21	3.83

건조수축은 석회석보다 크고 산지에 따른 차이도 보인다.

3) 골재의 품질특성과 균열의 관계

골재의 품질특성중에서 건조수축 및 균열과 관계되는 항목은 다음과 같다.

① 탄성계수 : 골재에 힘이 가해졌을때의 변형의 정도를 나타내는 탄성계수가 큰 것일수록 건조수축이 작다. 전술한 것처럼 콘크리트 건조수축의 주원인은 시멘트페이스트의 건조수축이며, 이 시멘트페이스트의 건조수축을 골재로 구속하여 실용상 큰 문제가 생기지 않는 정도의 건조수축을 유지하는 것이다. 주 골재의 탄성계수가 크다는 것은 시멘트페이스트의 건조수축을 많이 구속하여 콘크리트의 건조수축량을 작게하는 효과를 얻는 것이다.

② 실적률 : 골재의 실적률은 어느 일정한 용적속에 골재를 넣고 공극을 메울수 있는가를 나타낸 값으로 골재의 형상이 좋을수록 구형(球形)에 가깝고 반대로 형상이 나쁜 골재란 납작한 모양의 것이 많은 것을 의미한다. 실적률이 큰 골재란 일정조건인 콘크리트를 제조할 경우 골재량이 많이 사용된다는 것을 뜻하며, 이는 시멘트페이스트의 건조수축을 더 많이 구속할 수 있는 것이다.

③ 세골재의 조립율(細粒率) : 세골재의 조립률이란 골재입자의 크기를 표시하는 값이며 이 값이 클수록 치수가 큰 골재임을 표시하며 조립률이 커질수록 실적률이 커지기 때문에 콘크리트의 건조수축량을 줄일 수 있다.

④ 조골재(組骨材)의 최대치수 : 조골재인 경우는 입자의 크기를 나타내는데 통상 최대치수가 사용되는데 이 치수가 클수록 실적률이 커지는 경향이 있으며, 이는 곧 전술한 것처럼 콘크리트의 건조수축량을 줄일 수 있다.

⑤ 세척 : 흙이나 실트가 많이 섞이면 콘크리트의 건조수축량은 커진다. 강모래의 부족으로 예전에 하천이었던 논밭을 파헤쳐 모래를 채취하거나 산모래를 채취하기도 한다. 이같은 세골재에는 다량의 흙이 함유되는 탓으로 물에 철저히 세척해서 제조하고 있으나, 이를 소홀히 할 경우 흙이 섞인 세골재가 출하될 가능성은 많다.

⑥ 흡수율 : 골재를 수중 담았을 때 골재속에 침투하는 물의 양을 골재의 질량으로 나눈 것이 흡수율이다. 흡수율이 큰 골재는 그만큼 내부에 많은 공극이 있다고 볼 수 있다. 흡수율이 큰 골재를 사용한 콘크리트에서는 시멘트페이스트속의 수분이 건조에 따라 증발하면 골재내부에 함유된 수분이 시멘트페이스트로 이동하여 건조가 지연된다. 이 같은 현상은 보통골

재보다는 경량골재 속에서 생길 수 있는데 이처럼 흡수율이 큰 골재를 사용할 때 초기의 건조수축률은 작아지나 장기간에 걸친 건조수축률은 증가되므로 유의해야 한다.

2.4.3 혼화재료에 기인한 영향

1) 화학 혼화재

혼화재로 널리 사용되는 재료에는 AE제, AE감수제, 유동화제 및 고성능AE 감수제등의 화학혼화제가 사용되는데 실험결과 장기간의 건조수축률은 혼화제를 사용하는 콘크리트에 비해 동등하거나 약간 크게 나타나고 있으며 건조개시부터 건조기간 1년까지의 경우에는 초기의 건조수축량이 커지는 경향이 있으며 AE 감수제 촉진형인 경우 무려 40%나 증가된다는 결과가 있다.

콘크리트의 건조수축에 가장 큰 영향을 미치는 요인으로서 단위수량을 들 수 있는데 화학 혼화제를 사용하여 단위수량을 감소시킨다고 건조수축이 언제나 작아진다는 보장은 없으며 화학 혼화제의 선정방법에 따라 오히려 균열발생을 촉진하는 경우도 생각할 수 있다. 따라서 균열발생을 억제하고자 할 경우에는 이 같은 화학 혼화제를 사용하지 않는 것이 상책이다.

2) 혼화재 (混和材)

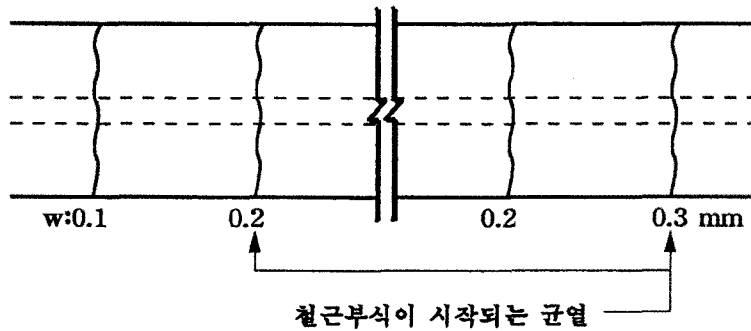
대표적인 혼화재로는 플라이애쉬나 고로슬랙미분말이 있는데 이 재료에 대하여는 시멘트의 영향에서 언급한 혼합시멘트와 같은 효과가 있으므로 생략한다.

2.4.4 물의 영향

건조수축은 콘크리트속의 물의 건조에 따라 발생하며 물의 성질에 따라 변화하고 물의 표면 장력이 작을수록 건조수축도 작아진다고 알려져 있다. 물의 종류에 따른 시험결과는 많지 않으나 Sludge수를 제외하고는 별 문제가 없다.

2.4.5 소결론

건축물에 사용되는 콘크리트에는 압축강도를 비롯하여 중성화등 많은 성능이 요구되며 균열 억제만을 목적으로 재료선정을 하기는 사실상 불가능하다. 따라서 공급가능한 레미콘공장을 조사하여 균열이외의 여러 성능을 만족하는 한편 가급적 균열을 억제할 수 있는 공장을 선정 한 후에 배합설계 및 시공 등의 대책을 마련하는 것이 최선이겠으나 현장의 여러여건상이 또한 힘든 일일 것이다.



[그림 10] 균열의 대소와 철근의 부식

2.5 허용균열폭

2.5.1 평균균열폭과 최대균열폭

[그림 4]에서 설명한것처럼 균열폭은 균열간격에 비례한다. 부식이 시작되는 균열은 [그림 10]에 도식적으로 표시한 것처럼 그 구역의 제일 큰 균열폭을 갖는 곳으로부터 생긴다는 것이 실험적으로 밝혀짐에따라 [그림 10] 좌측의 0.2mm 균열부분에는 부식이 생겨도 우측 0.2mm 부분에는 생기지 않거나 생기더라도 0.3mm 부분보다 매우 지체되어 나타난다.

이것은 어느 부식부위에 대해 생기는 마이크로셀전류역(域)

에 관계가 있지만 이같은 모양으로 부식이 억제되는 범위가 어느정도 되는지는 불분명하다. 이것은 좋은 연구과제가 될수 있다고 보이며 이러한 측면에서 균열폭은 그 최대치가 중요하며 구조설계에서 대상으로 삼는 것은 이 최대 균열폭이어야 한다.

2.5.2 허용균열폭의 규정치

균열폭의 허용치는 미관상, 내구성 또는 방수성 확보등 여러 가지 관점에 따라 그 값이 다르지만 여기서는 내구성 확보

[표 4] 각국의 허용균열폭

國名	기준 또는 제안자	환경조건 또는 대상구조물	허용균열폭(mm)
일본	토목학회 RC기준시방서(1974)	해양콘크리트 (해설) 간조부 해수중	0.15 0.20
		(해설) 간조부 해수중	0.15 0.20
	일본건축학회 철근콘크리트조의 균열대책 (설계, 시공)지침안, 동해설	(균열폭 제한의 목표치)	0.30
일본공업규격		원심력 철근콘크리트 pole	0.25
		설계하중시 설계압힘모멘트의 작용시 설계하중, 설계압힘모멘트 해방시	0.05
미국	ACI Building Code 318.71	실외부재	(0.33)
		실내부재	(0.41)
	ACI Committee 224	건조한 공기, 보호막	0.41
		습기, 습한공기, 토양	0.31
		물 제거약품	0.18
	해수및 해수분무, 습윤및 건조수물	0.15	
	보전하는 구조물	0.10	
스웨덴		도로교 사하중만	0.3
		사하중+활하중1/2	0.4
영국	CP-110	일반환경	0.30
		침식성의 환경	(주철근의 공칭 피복) ×0.04이하

를 위해 각국의 여러기관에서 정한 값을 제시한다.

3. 결론

지하외벽 system 및 균열형태, 그리고 현재의 공사진행정도를 볼 때 균열요인을 쉽게 판단할 수 있는 아주 보편적인 균열로서 다수의 다른 지하구조물 외벽 및 지붕의 R.C 남간등에서 쉽게 발견할 수 있다.

다음과 같이 최종적인 검토결과를 요약해 본다.

통상적인 균열발생요인	검토결과	당 project와 관련여부
구조설계도서	<ul style="list-style-type: none"> • 토압 및 수압을 건디는 수직방향의 주철근 및 수평 방향의 최소 철근량(0.25%)은 규준을 만족함. 	없음.
초과설계하중	<ul style="list-style-type: none"> • 작용축압 없음. 	없음.
철근부식	<ul style="list-style-type: none"> • 철근부식 없음. 	없음.
대기의 온도변화	<ul style="list-style-type: none"> • 건조수축균열에 약간의 추가적인 영향을 줄 수 있으나 주된요인은 될 수 없음. 	약간관련성이 있으나 건조 수축에 포함되어 설명됨.
시공불량	<ul style="list-style-type: none"> • 초기 경화중 양생불량 내지는 콘크리트타설전 가수 가능성은 없는 것으로 사료됨. • 현장조사결과 콘크리트강도는 설계기준강도 $F_c=240 \text{ kg/cm}^2$를 상회하며 철근간격 및 직경 또한 설계도면과 거의 일치함. 	없음.
재료상의 문제	<ul style="list-style-type: none"> • 중요한 문제일 수 있으나 콘크리트 타설전 미리 예방하지 않고 타설후 이를 규명하기란 많은 비용과 시간이 소비되어 검토 범위에 포함하지 않았음. 	관련성이 있으나 정량적 판단 불가.
콘크리트건조수축	<ul style="list-style-type: none"> • 콘크리트 외벽에 줄눈을 설치하여 미리 균열을 유도 할 수 있겠으나 누수가 있어 토목옹벽이 아닌 지하실 외벽에서는 의미가 없다. 수직으로 발생하는 균열을 근원적으로 제거하는것은 불가능함. 대책 : 많은량의 수평철근배근, 강섬유 또는 탄소 섬유를 첨가하면 상당량을 줄일 수 있음. 고강도강선을 이용한 PS공법도 가능. 	주요인.
구조계획	<ul style="list-style-type: none"> • 건조수축균열을 구조계획적으로 해결할수는 없으며, 온도철근의 상향조정으로 균열 간격 및 균열폭의 축소는 가능함. • 가능한 작은직경의 철근을 촘촘히 배근하는 것이 균열 억제에 도움이 됨. 	관련은 있으나 균열의 완전제거보다는 억제하는 방법 제공 가능.