

가설거푸집 붕괴(崩壞) 재해의 원인과 대책



나 운
삼성물산(주)

1. 머리말

오늘날의 건설공사는 초고층 대형화, 장스팬 구조의 채용, 층고의 증가 등 난이도가 높아지고 있으나 숙련된 기능 인력의 부족, 기능공의 고령화 등으로 공사에 따른 위험요인은 증가하고 있으며, 건설재해예방을 위한 수많은 노력과 전체적인 산업재해율의 감소추세에도 불구하고 건설재해로 인한 중대재해 수는 늘어나고 있는 실정이다. 특히 많은 건설 공정중 다른 공정에 비해 거푸집공사는 구조물의 품질과 안전에 직접적인 영향을 미치며 시공중 거푸집의 붕괴 및 도괴 사고는 대형재해로 이어져 근로자의 사망등 인적피해와 더불어 경제적 손실과 사회적 문제를 많이 야기시키는 공정이다.

건설공사에 있어서 거푸집은 콘크리트가 응결·경화하는 동안 콘크리트를 일정한 형상과 치수로 유지시키는 역할과 콘크리트가 경화되는데 필요한 수분의 누출을 방지하여 콘크리트 구조물의 품질과 구조 안전성에 영향을 가장 많이 미치는 가설물로 거푸집의 설계와 조립상태, 콘크리트 타설 방법 등의 시공사항은 구조물의 안전에 매우 중요한 영향을 미치게 되므로 소홀히 취급해서는 안되는 부분이다.

그러나 우리는 매스컴을 통해서 또는 사고사례를 통해서 시공중 거푸집 붕괴사고와 같은 대형사고를 자주 접하지만 사고에 무감각하게 대응하고 있는 것은 아닌지 되돌아보아야 할 때라고 생각한다.

이렇듯 우리나라의 거푸집 사고 발생 원인을 연구한 자료에 의하면 부적절한 작업방법에 의한 사고가 전체의 32%를 차지할 정도로 구조적인 문제와 작업방법의 부주의가 중대건설재해를 일으키는 주원인으로 재해통계나 관련 보고서등에 보고 되고 있다.

〈표1〉 거푸집사고 발생원인

| 비고 | 빈도 | 구성비(%) |
|--------------|-----|--------|
| 관리자 감독미비 | 84 | 16 |
| 근로자 과실 | 99 | 19 |
| 안전교육 미흡 | 15 | 3 |
| 부적절한 작업 방법 | 166 | 32 |
| 안전설비 미비 | 95 | 18 |
| 기계·기구 관리미비 | 22 | 4 |
| 기타(작업환경의 미비) | 42 | 8 |
| 계 | 523 | 100 |

주1) 거푸집공사에서 발생하는 중대재해의 유형 및 원인에 관한 연구(1998년)

거푸집 붕괴사고와 같은 중대 건설재해는 거푸집 설치와 타설, 해체 등의 시기에도 발생할 수 있기 때문에 가설 구조설계와 시공과정에서 각별한 주의를 기울여야 한다.

본 고에서는 이러한 거푸집 붕괴사고 사례를 통해 거푸집 붕괴재해의 원인과 대책에 대해 알아보려고한다.

2. 거푸집 등바리 붕괴재해의 원인

콘크리트 타설 공정에서 대형재해로 이어져 인적피해와 경제적 손실이 매우 큰 거푸집사고 발생 원인을 조사 분석한 결과를 보면, 거푸집 지보공의 설치와 콘크리트 타설 방법의 불량 등 부적절한 작업방법으로 인한 사고발생이 전체의 50%를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 등바리 조립도와 작업계획서를 작성하지 않았거나 안전성 검토를 실시하지 않은 상태에서 무리하게 공사를 진행함으로써 발생한 사고가 26%, 관리자와 감독자를 배치하지 않는 등 관리감독미비로 인한 사고가 11%를 차지하여 거푸집 붕괴사고의 대부분은 부적절한 작업방법과 무리한 공사진행 및 관리자의 관리감독의 미비로

인하여 발생하고 있다고 보고되고 있다. 국내 건설현장에서 발생한 시공중 거푸집 동바리 붕괴재해 사례에 대한 발생원인을 정리하면 <표2>와 같다.

재해발생 원인을 살펴보면, 구조적인 원인으로 첫째는 층고가 3.6m이상일 경우 매 2.0m미만으로 설치하여야 하는 수평 연결재 및 버팀재 연결 누락으로 인한 동바리의 좌굴 현상, 둘째는 콘크리트 타설 하중에 대한 거푸집 구조계산을 하지 않음에 따른 동바리의 과하중 부담, 셋째는 이중 동바리 사용등과 같이 상하 동바리 연결재 연결 불량 또는 동바리 위치의 불일치로 인한 하부 동바리의 붕괴와 같은 구조적인 원인이 주요한 원인이었고, 시공적인 원인으로서는 콘크리트 타설 방법 불량으로 일시에 슬래브의 한 곳에 집중적으로 콘크리트 타설 하중이 과적재되어 생기는 편심하중 발생이 주요한 원인을 알 수 있다.

이러한 거푸집 붕괴사고를 일으키는 주요인을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 시공계획 미 수립 및 구조계산 미실시
 - ① 동바리 조립 상세도 미 작성 및 거푸집 동바리 구조검토 미실시
 - ② 공법 선정 및 동바리 공법 선정 부적절
- (2) 거푸집 동바리 설치불량 (가설시공불량)
 - ① 안전성이 검증되지 않은 미검정 거푸집 동바리 사용
 - ② 거푸집 동바리 부재 자체의 결함
 - ③ 이질재료의 사용 (단관 파이프 + 파이프 서포트 등)
 - ④ 파이프 서포트 2단 이상 연결 사용
 - ⑤ 가설부재의 용접이음 및 전용 연결철물 미사용
 - ⑥ 수평 연결재 설치불량 및 미설치
 - ⑦ 교차 가새 미설치
 - ⑧ 거푸집 동바리 상하단부 고정 불량
 - ⑨ 거푸집 동바리 지지 지반의 침하
 - ⑩ 계단 부위 등 경사 슬래브에 설치되는 동바리 하부에 깔목, 깔판의 설치불량
- (3) 콘크리트 타설 방법 불량
 - ① 한 곳에 집중적으로 타설함에 따른 편심 하중에 의한 붕괴
 - ② 타설 물량을 고려한 타설 장비의 투입 여부 등 사전검토 미실시

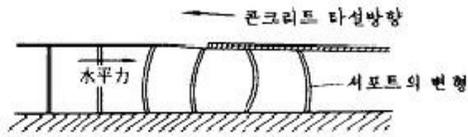
<표2> 사고사례 분석을 통한 붕괴 원인

| 층고(m) | 슬래브두께(mm) | 슬래브면적(m ²) | 동바리 | 발생원인 |
|-------|-----------|------------------------|---------------------------------|---|
| 21 | 1,000 | 125 (25X5) | System Support | 동바리 좌굴 집중타설, 편심하중 |
| 11.7 | 1,300 | - | Pipe Support 용접이음 | 강관 용접 수평연결재, 가새누락 한쪽 타설 편심발생 |
| 8 | 150 | - | B/터베게 + Pipe Support | B/터베게와 Pipe Support 연결부 유동 |
| 8 | 120 | 460 (40X11) | 단관 Pipe + Pipe Support | 이질재의 혼합 사용 이음부 연결상태 불량 수평연결재 미 설치 집중타설, 편심하중 |
| 7 | 150 | - | Pipe Support 2단 연결 | 상·하단 연결 불량 설치 간격 불량 수평 연결재 설치 미흡 집중타설, 편심하중 작용 |
| 11.1 | 150 | 373 (41X9.1) | Pipe Support 3단연결 | Pipe Support 3본 연결 보 동바리 간격 불량 수평 연결재 미설치 집중타설, 집중하중 |
| 7.2 | 300 | 84.2 (28X3) | Pipe Support | 설치간격 미준수 수평 연결재 미설치 |
| 5.6 | 150 | 382 (27X14) | 단관Pipe+ Pipe Support | Pipe Support 미 고정 수평연결재 불량 |
| 7.5 | 200 | 1,260 (35X36) | 각재 (2'x4') + Pipe Support | 수평연결재 미 설치 상·하부 고정 불량 집중 타설, 편심하중 |
| 4.8 | 120 | 257 (19X13) | 단관Pipe + Pipe Support | 동바리 고정 불량 수평연결재 미설치 |
| 5.8 | - | - | Pipe Support 2단 | 상·하동바리 편심 Pipe Support 고정 불량 수평연결재 설치불량 |
| 13.4 | 120 | 1,513 (55X27) | 단관Pipe + Pipe Support | 수평연결재, 사재 미설치 Pipe Support 고정 불량 편심하중 발생 |

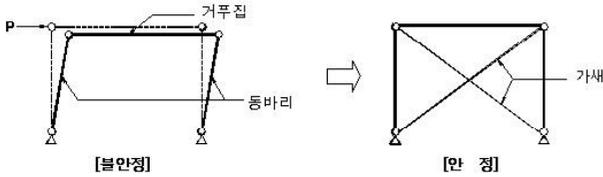
2.2 거푸집붕괴메카니즘

2.2.1 전도

가설구조물의 접합부는 모두 핀 조건으로 가정하므로 가새가 없는 상태는 불안정 구조가 된다. <그림1>과 같이 콘크리트 타설시 한쪽 방향으로만 타설해 가면, 동바리 전체에 수평력이 가중되며, 가새 부족과 편심 동바리의 경우에는 1개의 동바리가 좌굴하는 것만으로도 연쇄반응으로 같이 넘어져 일순간에 전도할 수 있다. 그러므로 <그림 2>와 같이 가새보강이 필요하고, 더불어 콘크리트를 한쪽방향으로만 타설하거나 한곳에 집중하여 타설하는 것은 동바리 붕괴의 원인이 되므로 콘크리트를 분산하여 타설하여야 한다.



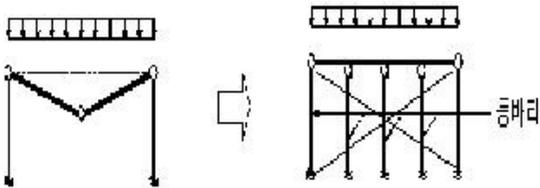
〈그림1〉 타설하중에 의한 전도 메카니즘



〈그림2〉 동바리 전도 메카니즘과 가새보강

2.2.2. 거푸집 장선 멩에부재의 절곡(折曲)

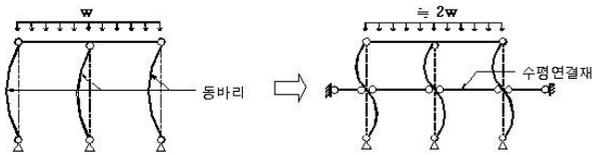
가설구조물은 정정구조물이므로, 1개소에서 소성힌지가 발생하여도 〈그림3〉과 같이 붕괴로 이어지므로, 거푸집의 절곡현상 방지를 위해서는 사전에 거푸집 설치에 대한 구조계산과 검토를 하여 장선, 멩에, 동바리 등의 적정 간격을 검토한 후 시공해야 한다.



〈그림3〉 거푸집 부재의 절곡과 보강

2.2.3 좌굴

동바리는 압축재이므로 동바리의 내력은 좌굴길이에 의하여 결정되며, 〈그림4〉와 같이 층고가 3.6m 이상인 경우에는 높이 2.0m 이내마다 수평 연결재를 2개 방향으로 설치하고 수평연결재의 변위가 일어나지 않도록 이음부분은 견고하게 연결되어야 좌굴을 방지할 수 있다.



〈그림4〉 동바리의 좌굴현상과 보강

동바리가 수직으로 설치되지 않아, 편심하중이 작용할 경우에는 동바리의 길이가 3.4m이고, 편심이 5cm일 경우 동바리의 내력이 30%정도 저하되므로, 동바리의 수직도의 유지가 매우 중요하다.

3. 거푸집 붕괴 사례

3.1 거푸집 붕괴 사례

2002년 11월 OO신축건물 지하주차장 램프 상부의 2층 슬래브 콘크리트를 타설하던 중에 하부에 설치된 거푸집 동바리가 타설하중을 지지하지 못하고 붕괴되어 상부에서 작업하던 근로자 2명이 사망한 거푸집 붕괴사고이다. 사고 건물의 개요는 다음과 같다.

건 물 명 : ○○○○ 신축건물

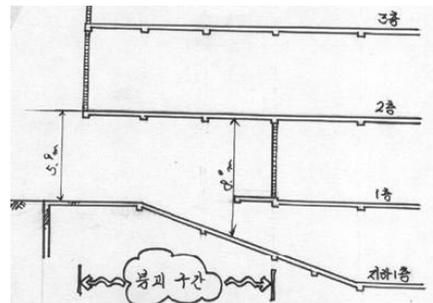
공사규모 : 지하 3층, 지상 10층

건물용도 : 근린생활시설, 상업용 건물

3.1.1 사고발생부위 및 사고원인

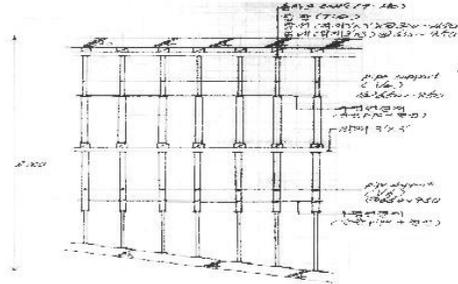
1. 사고발생부위

거푸집 붕괴가 발생한 후, 산업안전공단에서 현장조사를 실시하였는데 사고 발생부위는 〈그림5〉와 같이 지하주차장 진입 램프 구간으로 층고가 5.9m ~ 8.0m로 구조물이 형성되는 부분이었다.



〈그림5〉 사고 발생 부위

2. 사고발생원인



〈그림6〉 사고 발생 원인

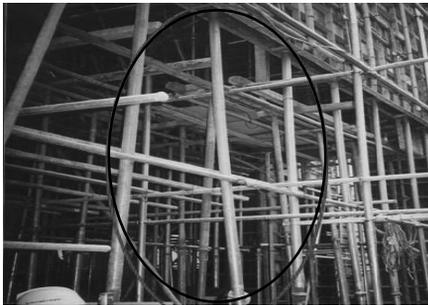
사고발생원인은 산업안전공단의 조사결과,

- 1) 거푸집 동바리 등의 안전조치 부실로 파이프서포트를 상호 연결하여 설치하는 이중동바리 구조로 시공되었으며, 상, 하 동바리의 수직도가 일치하지 않아 비틀림 모멘트 발생 및 지지력 부족.
- 2) 램프 경사부 받침목이 일부 누락되는 등 받침부 설치불량

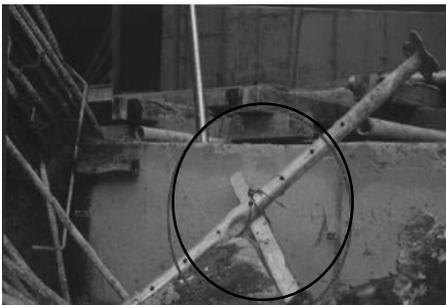
- 3) 층고가 3.6m이상일 경우 수평 연결재를 매2.0m 이내마다 2방향으로 서로 전용철물인 클랩프를 사용하여 견고하게 설치하여야 하나 철선 등을 이용하여 불규칙적으로 설치함으로써 수평연결재의 체결력 부족으로 동바리의 좌굴 및 변위 발생.
- 4) 전용 부속자재를 사용하지 않은 관리 부실 등이 붕괴의 주원인이었다.



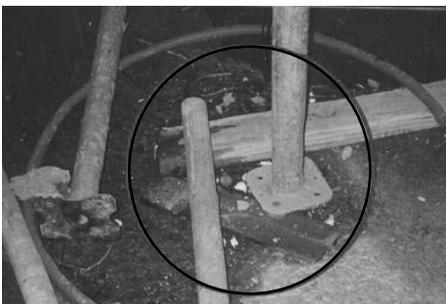
〈사진1〉 거푸집 붕괴사고 현장



〈사진2〉 거푸집 동바리 조립



〈사진3〉 철선을 이용한 수평연결재 시공



〈사진4〉 경사 램프부분 동바리 상태

3.2 거푸집붕괴사례2

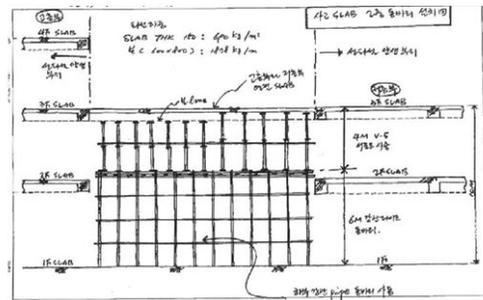
2003년 2월 0000 신축공사 건물의 저층부와 고층부를 연결하는 3층 슬래브를 타설하던 중에 하부의 동바리가 타설 하중을 견디지 못하고 붕괴되면서 상부에서 작업하던 근로자 6명이 중경상을 입은 거푸집 붕괴사고이다. 사고 건물의 개요는 다음과 같다.

건 물 명 : 0000 신축공사
 공사규모 : 지하 2층, 지상 10층
 구 조 : 철근콘크리트 라멘조
 건물용도 : 업무용

3.2.1 사고발생부위및 사고원인

1. 사고발생부위

거푸집 붕괴 사고 후 현장조사를 실시하였는데, 사고발생부위는 〈그림7〉과 같이 지상 3층을 연결하는 슬래브 부분으로 지상 1층에서 3층 슬래브 까지 층고가 10m 부분으로 중간에 슬래브가 없는 부분에서 발생했다.

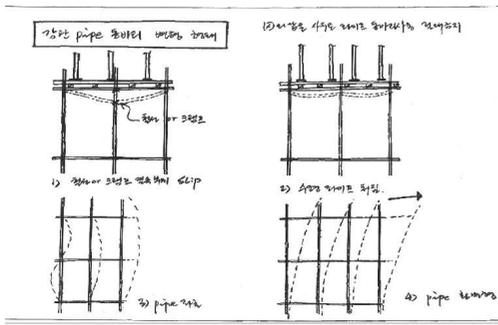


〈그림7〉사고 발생 부위

2. 사고발생원인

사고발생 후 관계자의 조사결과 사고원인은 다음과 같다.

- 1) 〈그림7〉과 같이 하부는 강관동바리를 사용하고, 상부는 V5 동바리를 사용한 이중동바리 시스템으로 가설 거푸집을 조립하였으나, 상부 동바리와 하부동바리의 간격이 서로 일치하지 않아 중간의 합판 가설구대에 응력이 집중되어 가설 구대의 굴절이 발생하였다.
- 2) 이중동바리를 사용함에 따른 가설 구조설계를 하지 않았고, 거푸집 시공계획 등의 가설공사계획을 수립하지 않았다.
- 3) 층고 10m 슬래브 콘크리트 타설시 기둥, 보, 슬래브 부재에 동시 타설을 하여 응력집중에 따른 거푸집 도괴현상이 발생하였다.
- 4) 횡방향 저항요소인 가새 보강 및 수평연결재를 시공하지 않아 동바리의 도괴 및 좌굴현상이 발생하였다.
- 5) 수평연결재를 동바리에 연결하는 클랩프와 같은 연결철물 대신에 철선으로 연결하여 결속력이 저하되어 동바리의 좌굴이 발생한 점 등이 거푸집 슬래브의 붕괴를 일으킨 주원인이었다.



<그림8> 사고 발생 원인



<사진5> 거푸집 슬래브 붕괴 현장



<사진6> 거푸집 슬래브 붕괴 현장

4. 거푸집 슬리브 붕괴 방지대책

4-1. 거푸집 슬래브 붕괴방지대책

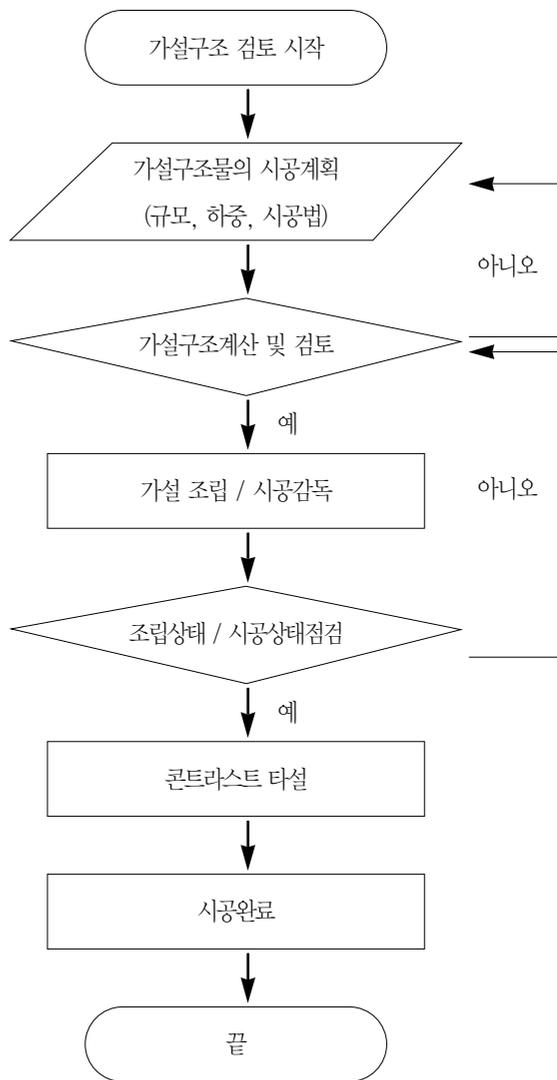
- 1) 골조작업 착수 전 동바리 계획 후 도면을 작성하고 구조전문가의 구조 계산 및 검토를 반드시 실시하여 안전성을 확인한 후 시공하도록 한다.
- 2) 이중 동바리는 절대 사용하지 않는다
- 3) 강재와 강재의 접속부, 교차부 등은 전용철물을 사용하여 동바리의 도괴 및 좌굴을 방지한다.
- 4) 수평변위 방지를 위한 조치를 실시하고 시공 전, 후에 동바리 조립상태를 확인 점검하여 위험한 부분은 보강조치를 하여야 한다. (수직재 선타설, 가새, 버팀 등)
- 5) 트랜스퍼 빔, 트랜스퍼 슬래브 등 타설하중이 많은 부분은 층고에 관계없이 별도로 구조 전문가의 구조 검토와 타설 계획, 거푸집 조립 계획을 수립한 후 작업하도록 한다.
- 6) 수평보강재 (수평 연결재) 설치기준을 준수하여 시공하도록 하며

관리 감독자는 시공 상태를 작업 전 점검한다.

- 층고3.6m 이상인 경우 2m 이내마다 설치
- 서포트 수직도 및 열을 맞추어 X, Y방향 정확하게 설치
- 수평보강용 전용철물 사용(철선사용 금지함)

4.2 거푸집 슬래브 구조검토

가설구조물의 붕괴를 방지하기 위해서는 시공계획 단계에서 구조물의 특성과 공사의 중요 위해 위험요인을 발체하여 사전에 가설구조 안전에 대한 검토를 진행하여야 하며, 그에 따른 시공계획을 수립하는 것이 무엇보다도 중요하다. 가설 거푸집을 조립 시공 할 때에는 규격에 맞는 검인정 제품을 사용하도록 하며, 연결 철물의 적합성, 지반 등 지지부의 안전성 등을 확인하여야 하며, 불안정한 상태가 발견되었을 경우에는 보강조치를 하여야 경제적, 인적 손실방지와 건설업에 대한 국민적 불신을 씻을 수 있을 것이다.



<그림9> 가설구조 안전성 검토 흐름

5. 맺음말

가설구조물의 붕괴는 주로 불안정한 작업과 지금까지 문제없었는데 이번에도 괜찮겠지 하는 안이한 마음에서 검토를 소홀히 하고 방심하는 순간에 발생하게 되며 이는 지금까지의 사고사례나 사례조사를 통한 원인을 통해 알 수 있다. 그러나 가설구조물의 붕괴는 구조부재의 손상은 물론 구조물 안전성에 치명적인 영향을 끼칠 수 있으며 동시에 막대한 경제적 손실과 소중한 인명 손실을 초래하기 때문에 그 예방이 무엇보다 중요하다고 할 수 있다.

물론 많은 건설현장에서는 시공계획단계에서 가설 구조물에 대한 검토가 이루어지고 구조설계 및 안전성 검토가 이루어지고 있지만 사소한 판단착오와 예상치 못한 현장 상황, 부실한 작업 등에 의하여 가설 구조물이 붕괴당하는 경우가 종종 발생한다.

따라서 계획 중이나 시공 중에 가설구조물에 대한 안전성에 항상 주의하여야 하며 전문가와 상의하는 노력이 수반되어야 한다.

아울러 가설 구조물의 붕괴 사례는 여러 가지 이유에 의해 사실 자체가 공개되지 않고 덮여지는 경우가 많고 동일한 원인이 반복하여 나타나는 경향이 많다.

구조전문가로서의 바람은 같은 원인으로 인한 사고가 반복되지 않았으면 하는 것이다.

※참고자료

1. 건설교통부제정 건축공사표준시방서, 대한건축학회, 1999년, 기문당
2. 콘크리트 표준시방서, 한국콘크리트학회, 2004년
3. 거푸집공사에서 발생하는 중대재해의 유형 및 원인에 관한 연구, 이학기외, 1998년
4. 중대재해사례집, 한국산업안전공단, 2004년
5. 건축기술 실무이야기, 삼성건설 건축기술팀, 2001년, 공간예술사



겨울보신약은 옐로푸드...

옐로 푸드는 베타 카로틴이 풍부하기 때문에 세포가 늙고 질병이 퍼지는 것을 막아주는 데 역할이 크다. 항암효과를 비롯한 면역체계를 가꾸어 주는데 큰 기능을 하기에 동맥경화나 당뇨병 같은 성인병과 암 등을 유발할 수 있는 산화 작용을 막아준다. 또한 옐로 푸드를 먹으면 몸 안에서 비타민 A로 전환되어 코, 결막, 기관지, 폐의 면역력을 강화시키며 알레르기 질환 등을 예방해준다.

■ 늙은 호박

베타 카로틴과 비타민 B·C가 풍부하고 소화가 잘돼 감기 예방 및 중풍 예방에 좋으며 이노 작용도 해줘 산후 조리나 몸이 붓는 사람이 먹으면 좋다. 독일·터키·불가리아 등에서는 단호박씨를 50세가 넘는 남성들의 대표적 질환 중 하나인 전립선 질병에 민간요법 재료로 사용하고 있다.

- cooking point : 영양을 그대로 살리는 찜 요리가 좋다.

■ 골드 키위 하루에 2개 정도 꾸준히 먹으면 백내장 예방 및 치료에 효과적이며 변비 예방에도 좋다.

- cooking point : 키위는 그대로 먹는 것이 제일 좋다. 열을 가하면 비타민이 파괴되므로 주의한다.

■ 고구마 향암 물질이 들어 있어 암 예방에 좋고 감자보다 당지수가 낮아 다이어트에도 좋다.

- cooking point : 껍질째 먹어야 소화가 잘되고 가스도 덜 생긴다.

★ 이렇게 요리하면 맛, 영양 싱싱

고구마와 옥수수는 영양소가 전분에 둘러싸여 있어 푹 익혀 먹어도 파괴가 적지만 귤, 오렌지, 유자, 키위 등은 푹 익히면 비타민 C가 많이 파괴되기 때문에 조리할 때 맨 마지막에 넣거나 아주 살짝 익혀 먹는 것이 좋다. 호박 등 베타 카로틴이 풍부한 식품은 올리브유에 데쳐 먹으면 흡수율이 더욱 높아져 건강에 좋다. 그러나 무엇보다 중요한 것은 한 가지 재료만 고집하는 것보다는 갖가지 색의 야채와 과일을 골고루 섭취하는 것이다.