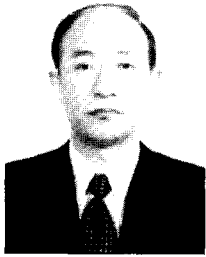
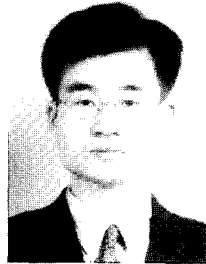


뽀칠 내화피복재의 현장품질관리

- 현장부착강도 시험 및 평가 기준을 중심으로 -



김 인겸
현대건설(주)
부사장



김 형래
현대건설(주)기술연구소
선임연구원

1. 서론

뽀칠 내화피복재에 요구되는 가장 중요한 성능항목은 당연히 내화성능일 것이다. 그런데, 최근 수년간 철골 기둥 및 보에 시공된 내화피복의 부착성능에 대한 관심이 고조되어 왔다. 이는 시공과정에서는 하자가 발생하지 않았다고 하더라도 내화피복재와 철골부재표면 사이가 들뜨거나 부착강도가 충분히 확보되지 않을 경우 사용기간 중에 철골부재의 휨, 외부충격, 층간변위, 뒤틀림, 화재 열응력 등으로 인한 변형 발생시 내화피복의 단면에 균열이 발생하고 박리·박락을 초래할 수 있기 때문이다.

한편, 내화피복재와 철골부재표면 사이의 계면부착강도에 대한 국내의 시험 및 평가방법은 극히 미비한 실정이다. 특히, 철골부재가 방청페인트 등으로 표면 처리된 경우에 대해서는 명확한 평가기준이 마련되어 있지 않다. 게다가, 철골내화피복의 품질관리를 위해 수행되는 현장시험 및 평가에 있어서도 제품별 부착강도 관리기준이 다르며, 이러한 부착강도 기준은 각 제품별 시공품질관리를 위한 기준값은 될지언정 설계상의 요구성능기준으로 보기는 어려운 것이 현재의 실정이다. 즉, 철골부재의 표면조건, 건축물의 용도나 규모, 철골부재에 작용될 수 있는 진동이나 충격 등 내화피복재의 내구성에 큰 영향을 미치는 환경조건을 고려한 부착성능기준으로서 적용하기에는 한계가 있다.

따라서, 본 고에서는 이상과 같은 사항을 고려하여 최근 시공현장에서 주로 지적되고 있는 뽀칠 내화피복재의 부착강도 미확보 및 들뜸현상과 관련하여 국내의 시험 및 평가기준에 대해 검토하고 적절한 현장품질관리를 위한 방안을 모색하고자 한다.

2. 뽀칠 내화피복재의 종류 및 국내 적용현황

2.1 뽀칠 내화피복재의 종류 및 특성

현재 국내에서 시공되고 있는 뽀칠 내화피복재는 모두 습식으로서, 2001년 7월 21일 압면제가 주류를 이루었던 반습식 공법의 뽀칠 내화피복재는 내화구조인정에서 취소된 바 있다.

한편, 뽀칠 내화피복공법은 물을 제외한 모든 재료를 자재 생산공장에서 일정한 비율로 혼합하고 일정단위로 포장하여 현장에 반입한 후, 내화피복재 시공부위의 인접장소에서 재료와 물을 일정비율로 섞어 액상화하여 분사장치를 통해 뽀칠되도록 하는 시공방식이다.

2003년 현재 뽀칠 내화피복재에 대한 건설교통부의 내화구조 인정 현황은 표 1)과 같으며, 주요 구성재료별 물성 및 장단점을 살펴보면 다음과 같다.

1) 압면제

- ① 단열재로서 주로 압면과 팽창질석, 결합재로는 석고플라스터와 시멘트를 사용
- ② 압면의 경우 인체에 미치는 유해한 영향이 없는 것으로 연구결과가 보고되었음
- ③ 보의 플랜지 모서리 부분의 두께확보에 어려움이 있음

2) 질석계

- ① 단열재로서 주로 팽창질석과 퍼라이트, 결합재로는 시멘트와 석고플라스터 사용
- ② 석면, 압면 및 합성골재를 함유하지 않음
- ③ 부착력이 우수하고 내구성이 강함

1) 한국건설기술연구원 자재인증그룹 인터넷 자료

표 1. 국내 뽐칠 내화피복재의 내화구조인정 현황

(2003년 5월 기준)

| 인정업체 | 제품명 | 적용부위 | 내화시간 | 적용두께 | 밀도 (g/m ³) | 부착강도 (kg/cm ²) |
|--------------|--------------|-------|------|--------|------------------------|----------------------------|
| (주)금강고려 | 집코트 (Gypoat) | 보, 기둥 | 1시간 | 20mm이상 | 0.35 | 0.35 |
| | | | 2시간 | 30mm이상 | | |
| | | | 3시간 | 40mm이상 | | |
| 라파즈 코리아석고(주) | 집프라스터 FP-15 | 보, 기둥 | 1시간 | 20mm이상 | 0.31 | - |
| | | | 2시간 | 30mm이상 | | |
| | | | 3시간 | 40mm이상 | | |
| (주)벽산니또보 | 코트락-WT | 보, 기둥 | 1시간 | 20mm이상 | 0.35 | - |
| | | | 2시간 | 30mm이상 | | |
| | | | 3시간 | 40mm이상 | | |
| (주)삼손 퍼라이트 | 에스코트-CF | 보, 기둥 | 1시간 | 15mm이상 | 0.32 | 0.32 |
| | | | 2시간 | 25mm이상 | | |
| | | | 3시간 | 35mm이상 | | |
| 세종철관(주) | 뉴하이코트 SP | 보, 기둥 | 1시간 | 20mm이상 | 0.37 | - |
| | | | 2시간 | 30mm이상 | | |
| | | | 3시간 | 40mm이상 | | |
| 한국그레이스 (주) | 모노코트 Z-106 | 보, 기둥 | 1시간 | 15mm이상 | 0.43 | - |
| | | | 2시간 | 30mm이상 | | |
| | | | 3시간 | 40mm이상 | | |
| | 모노코트 MK-6/HY | 보, 기둥 | 1시간 | 20mm이상 | 0.26 | - |
| | | | 2시간 | 30mm이상 | | |
| | | | 3시간 | 40mm이상 | | |

3) 퍼라이트계

- ① 단열재로서 퍼라이트, 결합재로는 석고플라스터와 시멘트, 탄산칼슘을 사용
- ② 화재시 유독가스의 발생 없음
- ③ 피복시 균일하고 견고하게 부착되어 충격에 의한 박리나 균열이 없음

4) 석고계

- ① 천연석고가 단열재 및 결합재의 역할을 수행
- ② 현장 뽐칠시공시 약 20% 정도의 부피팽창에 의해 동일 시공면적에 대한 소요재료량 절감 가능
- ④ 보의 플랜지 모서리 부분은 내화성능 확보를 위한 인정두께의 (2/3)t로 시공이 가능하도록 내화구조 인정취득
- ⑤ 1회 뽐칠시공 후 단기간 내에 2회 뽐칠시공이 가능하여 시공성 우수
- ⑥ 석고의 흡수에 따른 성능저하를 고려하여 습윤한 환경조건하의 부재에는 적용 금함

2.2 뽐칠 내화피복재의 현장 품질검사 현황

건설교통부는 2001년 7월 6일 체크리스트 개정을 통해 내화구조에 대한 품질검사 대행기관으로서 기존의 한국내화협회를 취소하고 건설교통부 지방국도관리청, 서울시 건설시험소, 중소기업청 요업기술원, 지방 중소기업청 등의 국·공립 시험기관이 담당하도록 하였다.

한편, 현장에서의 품질검사 목적은 내화구조 인정을 취득한 뽐칠 내화피복재에 대한 현장시공품질을 관리하는데 있으나, 현행 시험방법에 의한 두께, 밀도, 부착강도의 측정을 통해 철골부재의 표면조건(방청도장의 시공여부, 표면 거칠기)이나 건축물의 용도·규모에 따른 특수성(초고층화에 따른 구조체의 변위, 진동이나 충격 등에 따른 파손 가능성) 등을 고려한 내화피복재와 철골부재 표면의 계면부착강도를 제대로 평가하고 있다고 보기는 어려운 것으로 판단된다.

그 이유로서, 내화구조 인정시의 부착성능시험은 아연도 강판에 뽐칠한 시험체에 대하여 수행되며, 그 결과로부터 현장부착강도 관리기준값이 제시되고 있으므로 방청도장을 하였거나 기타 프라이머로 도포한 철골부재 표면에 내화피복재를 적용하는 경우에는 부착성

능의 확보여부를 평가하는데 한계가 있기 때문이다. 또한, 상기한 시험실에서의 표준시험방법과 현장측정 시험방법의 괴리로 인해 실제 시공현장에서 내화피복재의 들뜸 발생시 그 평가에 대해 논란의 여지가 많은 것이 현실이다.

3. 뿔칠 내화피복재의 부착성능 평가

3.1 국내의 성능시험방법

뿔칠 내화피복재의 부착성능은 내화구조 인정시 내화피복재의 두께, 밀도와 함께 부가시험 항목으로 관리되고 있으며, 시공현장에서의 부착강도 확인을 위해 내화피복재의 현장감리 체크리스트가 2000년 5월 고시된 바 있다.

주요 내용을 살펴보면, 부착강도는 훅크가 달린 금속 접시, 에폭시수지(2액형), 저울을 이용하여 응력을 가중시키면서 시료가 탈락하는 순간의 값을 측정하는 것으로서 피복재와 철골부재 표면 사이의 부착력, 혹은 뿔칠내화피복재 자체의 부착력을 측정하여 구한다.

- ① 검사에 필요한 자재는 금속 접시(직경 83mm, 깊이 12mm, 면적 $5.41 \times 10^{-3} \text{m}^2$ 의 금속 원통형 접시의 중앙에 훅크가 부착)와 에폭시수지(2액형)
- ② 현장에서의 부착강도 검사를 위하여 검사자는 부착강도 검사용 금속접시를 중간검사시 일정부위에 부착하고, 이를 관리하여 정해진 검사일자에 측정한다.
- ③ 시험실에서의 측정은 아연도금 철판(300mm×300mm)에 내화피복재를 시공하여 실내온도($20 \pm 2^\circ\text{C}$)와 대기조건에서 28일 동안 양생한 후 측정한다.
- ④ 시공현장 측정은 현장에 시공된 가장 적절한 위치의 빔(Beam)이나 만곡 텍크판(Fluted deck)부위에 길이는 300cm, 폭은 빔 혹은 만곡 텍크판의 폭을 시험면적으로 하여 시방서에 따라 대기조건에서 완전 건조하여 충분한 기간동안 양생한다.
- ⑤ 금속접시에 2액형 에폭시수지를 25cm²가량 섞어서 즉시 뿔칠내화피복재의 표면에 부착시킨다.
- ⑥ 금속접시를 시료표면에 밀착시키고 용기 밖으로 흘러나온 수지는 깨끗하게 정리한다. 수지가 완전히 경화될 때까지(24시간 이상) 금속접시를 고정시킬 수 있는 조치를 취한다
- ⑦ 시험실 측정 : 최소한 250mm이상의 경간을 갖게 지지하고 내화피복재 시공면을 밑으로 하여 시료를 설치한다.

- ⑧ 용수철 저울을 훅크(hook)에 걸어 분당 약 5kg의 힘을 균일하게 혹은 단계적으로 가하여(시료의 수직으로) 시료가 탈락할 때의 수치를 읽는다.
- ⑨ 부착강도 계산 : 시험한 결과를 가지고 아래와 같이 부착강도를 계산한다.

$$CA = \frac{F}{A}$$

여기서, CA=부착강도(kg/cm²), A = 금속 접시의 면적(cm²), F=기록된 힘의 수(kg)

- ⑩ 측정된 탈락부위는 동일 재료로 마무리를 한다.

한편, 이상의 시험방법에서 시험실 조건의 측정은 300×300mm의 아연도금 철판에 시공된 내화피복재를 대상으로 하고 있으나, 현장에서의 부착강도측정은 ④항에 나타난 바와 같이 빔(beam)이나 만곡 텍크의 길이방향으로 300 cm를 시험면적으로 규정하고 있어, 실제로 금속접시에 의해 부착강도가 측정되는 부위의 내화피복이 완전히 독립적으로 부착되어 있는 조건이라고 보기는 어려운 것으로 판단된다.

특히, 방청도장이 시공되어 있는 철골부재 표면에서는 내화피복재가 들떠 있어도 주변의 내화피복재와의 응집력으로 인해 관리기준을 만족하는 부착강도가 얻어짐으로써, 상기 시험방법에 의해서는 제대로 평가가 이루어지지 않는 경우가 빈번히 발생되고 있다. 이는 내화피복의 부착강도가 평가기준을 만족하더라도 추후 균열이나 탈락 등의 하자로 이어질 수 있으므로, 이에 대한 보완이 요구된다고 하겠다.



그림 1. 계면의 들뜸에 따른 내화피복재의 탈락

3.2 국외(미국) 성능시험방법

철골부재에 시공하는 뿔칠 내화피복재의 부착성능평가와 관련하여 규정하고 있는 국외의 대표적인 시험방법으로는 ASTM E 736(뿔칠내화피복재의 부착력시험),

ASTM E 759(스틸 데크에 시공된 뿔칠내화피복재의 휨 시험), ASTM E 760(스틸 데크에 시공된 뿔칠내화피복재의 부착력에 관한 충격시험) 등을 들 수 있다. 또한, 방청도장 등으로 처리된 철골부재표면에 적용하는 뿔칠내화피복재의 부착성능에 관한 시험 및 성능기준이 UL(Underwriters Laboratories Inc.)-Fire Resistance Directory (Volumn 1, 1998)의 Fire Resistance Ratings (ANSI/UL263(BXUV))에 규정되어 있으며, 그 내용을 살펴보면 다음과 같다.

즉, 설계상에서 특별히 금지하지 않는 한, 프라이머가 시공되었거나 유사한 형태의 페인트로 도포된 wide flange steel이 다음의 조건들을 만족하는 경우, 뿔칠 내화피복재로 분류되는 재료들을 적용할 수 있다.

- 1) 보 플랜지의 폭이 12in(30.48cm)를 초과하지 않는 경우
- 2) 기둥 플랜지의 폭이 16in(40.64cm)를 초과하지 않는 경우
- 3) 보나 기둥의 웨브 깊이가 16in(40.64cm)를 초과하지 않는 경우

표 2. 뿔칠 내화피복재의 현장 부착강도 측정결과

| 내화피복재 종류 | 측정부위 | | 부착강도 (kgf/cm ²) | 특기사항 |
|----------|-------|--------|-----------------------------|---|
| | 대상부재 | 측정위치 | | |
| A | 기둥-1 | 상부 | 측정불가* | <ul style="list-style-type: none"> • 안쪽기둥(강우 직접영향없음) • 측정불가는 측정기기 조작중 어태치먼트가 탈락된 경우임 • ASTM E 736에 의한 측정 • 시험재령 4주 경과 |
| | | 중간 | 0.571 | |
| | | 하부 | 0.194 | |
| | 기둥-2 | 상부 | 1.327 | |
| | | 중간 | 0.194 | |
| | | 하부 | 측정불가* | |
| | 기둥-3 | 중간 | 0.194 | |
| B | 기둥 | 상부 | 0.949 | <ul style="list-style-type: none"> • 안쪽기둥(강우 직접영향없음) • ASTM E 736에 의한 측정 • 시험재령 2주 경과 |
| | | 중간 | 0.949 | |
| | | 하부 | 1.888 | |
| C | 기둥-1 | 상부 | 1.510 | <ul style="list-style-type: none"> • 안쪽기둥(강우 직접영향없음) • ASTM E 736에 의한 측정 • 시험재령 4주 경과 • 외주기둥(강우 직접영향) • 코어 방법에 의한 측정 • 시험재령 4주 경과 |
| | | 중간 | 1.704 | |
| | | 하부 | 1.510 | |
| | 기둥-2 | 중간 | 0.377 | |
| D | 보-1 | 웨브 측면 | 1.510 | <ul style="list-style-type: none"> • ASTM E 736에 의한 측정 • 시험재령 6개월 경과 • 방청도장 없음 • 외부 커튼월 시공완료 • 코어 방법에 의한 측정 • 시험재령 6개월 경과 • 방청도장 없음 • 외부 커튼월 시공완료 |
| | | 웨브 측면 | 1.133 | |
| | | 플랜지 하부 | 1.327 | |
| | 보-2 | 플랜지 하부 | 1.888 | |
| | | 플랜지 하부 | 1.888 | |
| | | 플랜지 하부 | 1.888 | |
| | | 플랜지 하부 | 2.653 | |
| | 웨브 측면 | 1.510 | | |

4) 구조부재에 적용되는 뿔칠 내화피복재의 부착력에 관한 표준시험방법인 ASTM E 736에 부합되도록 수행된 부착시험결과가 표면도장을 하지 않은 1/8 in (3mm)두께의 강판에 적용한 내화피복재의 부착강도와 비교하여 최소한 80%의 평균부착강도를 나타내고 개개의 부착강도도 최소한 50% 이상이어야 한다. 평균과 최소 부착강도값은 ASTM E 736에 준하여 최소 5개의 부착시험을 수행하여 결정한다.

위에서 조건(4)에 부합되지 않는 경우에는 익스팬디드 메탈라스(최소 1.7lb/yd²)로 구조부재를 둘러싸서 기계적인 부착이 확보되어야 한다. 또한, (1), (2), (3)의 조건 가운데 1개라도 부합되지 않는다면 기계적으로 단락되도록 해야 한다. 기계적인 단락은 플랜지나 웨브에 있어서 상기한 (1), (2), (3)의 조건에서 정한 스패의 한계값을 거의 초과하지 않도록 최대 12 in (30.48cm)간격으로 1개 또는 그 이상의 메탈라스(최소 1.7lb/yd²)를 배치하고 그 중심부나 길이방향의 끝단에 용접이나 나사못을 이용하거나 분말상의 고정물을 이용하여 기계적으로 고정함으로써 가능하게 할 수 있다. 폭의 크기 제한을 초과한 플랜지나 웨브에 대해서는 초과된 폭의 최소 25% 이상이 메탈라스로 커버되어야 하며, 메탈라스는 최소한 폭이 3.5 in 이상이어야 한다.

메탈라스에 대한 대안으로는 내화피복재의 시방설계에서 가능한 경우 No.28 gauge 이상의 아연도 강제 디스크가 달린 No.12 gauge 이상의 스틸 스테르드를 사용하여 기계적으로 단락하는 방법이 있다.

도장 처리된 철골부재의 표면에 대한 부착강도가 상기한 최소 허용값 이하인 것으로 확인되는 경우에는 최소한의 소요 부착강도를 확보하기 위해 도장재 표면에 접착제를 적용할 수도 있다.

이상의 성능기준 및 해설의 내용을 정리해 보면 다음과 같다. 즉, 도장시공된 철골부재 표면에 뿔칠된 내화피복재는 5개의 시험샘플에 대한 부착강도 측정결과가 기준시험체(도장하지 않은 표면에 시공된 내화피복재)의 부착강도에 대하여 평균 80% 이상이어야 하며, 개별 시험결과도 최소한 50% 이상이어야 하는 것으로 규정하고 있다. 이는 임의의 뿔칠 내화피복재를 도장시공된 철골부재 표면에 적용하는 경우, 상기한 성능기준을 충족하지 못한다면 철골부재의 표면에 메탈라스, 디스크가 달린 스틸스테르드 등을 부착하거나 도장면 위에 접착제를 도포한 후 뿔칠시공해야 함을 의미하고 있다.

따라서, 상기한 UL인정기준에 따른다면 국내의 현장에 있어서 철골부재 표면에 들뜬 상태로 매달려 있는 뿔칠 내화피복재의 경우 그 소요성능이 확보되었다고 볼 수 없을 것으로 판단된다. 또한, 이와 관련하여

ASTM E 736에서 규정하고 있는 시공현장에서의 측정 시험구간이 300mm인 점과 국내의 시험방법이 ASTM E 736을 준용하였다는 점도 고려될 필요가 있는 것으로 판단된다.

3.3 국내 현장의 부착강도 시험결과

실제로 국내현장에서 적용되고 있는 주요 뿔칠 내화피복재를 대상으로 한 현장부착강도 측정결과, 표 2에 나타난 바와 같이 그 편차가 매우 컸으며 관리기준을 만족하지 못하는 사례도 많은 것으로 조사되었다. 또한, 내화피복재와 철골부재의 표면에 들뜸이 발생하였음에도 시험방법상의 적용길이가 300cm에 달하여 이와 같은 들뜸현상을 정확히 평가할 수 없는 것으로 확인되었다.

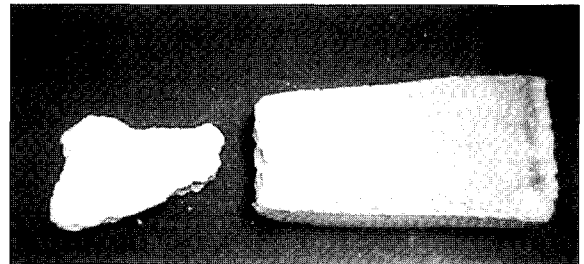


그림 2. 내화피복재 종류에 따른 계면탈락상태

현장시험을 통해 얻어진 표 2의 측정결과를 종합하여 고찰하면 다음과 같다.

- 1) 건축현장에 있어서 내화피복재와 철골부재 표면간의 부착상태에 대한 파단채취 및 육안검사 결과, 내화피복재가 철골부재와 완전히 부착되지 않은 채 들뜬 상태로 매달려 있는 경우가 많은 것으로 나타났다.
- 2) 이러한 들뜸현상은 시공중 또는 사용중인 건물에서 내화피복재가 탈락되는 주된 원인이 되고 있는 것으로 추정된다.
- 3) 뿔칠 내화피복재 들뜸현상의 직접적인 원인은 내화피복재 자체의 부착강도가 요구성능에 비해 낮다는 점과 특히 철골부재 표면에 방청도장을 시공하는 경우 충분한 계면 부착력이 확보되지 않기 때문인 것으로 추정된다.

4. 결론 및 제안사항

이상에서 철골 내화피복재의 현장품질관리를 위한 시험 및 평가방법에 대한 고찰과 함께 현장부착강도 측정결과의 일례를 살펴보았다.

결론적으로 언급하면, 기시공된 내화피복재의 들뜸 가능성과 이에 대한 요구성능 확보여부를 평가하기 위해서는 현행 건설교통부 『내화구조 현장감리 체크리스트』 중의 부착강도 확인방법 적용시 철골 보나 기둥의 플랜지 쪽에 대하여 길이방향의 시험구간으로서 30cm (300mm)를 적용함이 타당하며, 시험대상구간과 주변의 내화피복재를 완전히 분리시킨 상태에서 부착강도를 측정하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

또한, 현행 『내화구조 현장감리 체크리스트』 중의 부착강도 확인방법은 방청도장이 시공된 철골부재 표면과 내화피복재의 직접적인 부착강도를 평가하기에는 한계가 있어 실제로 현장에서 발생하는 내화피복재의 들뜸현상이 현행 품질관리시험을 통해 제대로 평가되지 않는 문제점을 내포하고 있는 것으로 판단된다.

따라서, 방청도장된 철골부재에 적합한 내화피복재의 선정을 위한 사전 평가방법으로서 미국의 UL내화인정 기준에서 정한 『도장된 철골부재 표면에 시공되는 뿔칠 내화피복재의 부착성능 평가기준(방청도장면에 대한 부착강도가 방청도장이 없는 피복면에 대한 부착강도의 80% 이상이어야 함)』을 적용하는 방안이 고려될 수 있을 것이다.

만일 선정된 내화피복재가 그 자체만으로 소요부착성능을 충족하지 못하는 경우에는 메탈라스 또는 디스크형 스틸스터드의 부착과 같은 기계적인 고정방법을 적용하거나 도장표면에 접착제를 도포하는 등의 대책 방안을 강구해야 할 것으로 판단된다.

마지막으로 현재 내화피복재의 제품별 관리기준으로서 제각각으로 적용되고 있는 부착강도기준에 대하여 적용대상 건물의 종류 및 용도, 적용부위, 바탕표면상태 등을 고려한 적정 수준의 부착강도 성능기준을 설정하고 뿔칠 내화피복의 내화구조 인정시와 현장시공시 소요 부착강도가 확보되도록 관리하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부, “내화구조 현장감리 체크리스트”, 2000.5
2. ASTM E 736, “Standard test method for cohesion/adhesion of sprayed fire-resistive materials applied to structural members”, 1992.
3. ASTM E 759, “Standard test method for effect of deflection on sprayed fire-resistive material applied to structural members”, 1992.
4. ASTM E 760, “Standard test method for effect of impact on bonding of sprayed fire-resistive material applied to structural members”, 1992.
5. Underwriters Laboratories Inc., Fire Resistance-Volume 1, With hourly ratings for beams, floors, roofs, columns, and walls and partitions, 1999.