

실내오염물질방출저감을 위한 주요건축자재의 시공기술에 관한 연구

허 정 용[†], 최 창 호^{*}, 안 형 준, 이 윤 규

한국건설기술연구원, ^{*}광운대학교 건축공학과

A study on the construction technology for major building material to reduce indoor air pollution

Jung-Yong Heo, Chang-Ho Choi^{*}, Hyung-June Ann, Yun-Gyu Lee

Building&Urban Environment Research Division, Korea Institute of Construction Technology, Gyeonggi-do 411-712, Korea

**Department of Architectural Engineering, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea*

ABSTRACT: Recently indoor air pollution caused by exposing hazardous chemicals (VOCs, formaldehyde) due to indiscriminated use of new construction materials and air-tightness to save energy is becoming a big issue. We have developed technologies to estimate the amounts of contaminants from constructions materials and method. We have further developed construction technologies to reduce and characterize these contaminants.

The developed technologies were then refined to eliminate defects through considering field applicability.

Key words: Indoor Air Quality(실내공기질), Adhesive agents(접착제), Paints(도료)

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 건축물의 기밀화 및 새로운 건축자재의 무분별한 보급 등으로 인하여 유해화학물질에 의한 건축물의 실내공기오염 문제가 심각하게 대두되고 있다. 접착제, 도료, 건축내장재, 가구 등 건축물 내의 다양한 오염원에서 VOCs, HCHO 등 유해한 오염물질이 방출하게 되는데, 각 오염원에서의 유해오염물질 방출정도는 건축자재의 시공방법 및 종류, 실내외 환경조건 등에 따라 큰

차이를 보이고 있기 때문에 이에 대한 해결방안의 제시가 매우 어려운 실정이다.

특히, 인체에 치명적인 영향을 줄 수 있는 오염물질이 건축물 내부에 시공되는 건축자재에서 발생할 가능성이 높음에도 불구하고, 이에 대응할 수 있는 관련 설계지침이나 시공대책 등이 체계적으로 정비되어 있지 못하기 때문에 실내공기오염에 대한 설계자, 시공자 및 거주자의 인식 또한 미비한 형편이다.

따라서 본 연구는 실내공기오염 저감을 위한 방안으로써 주요건축자재의 ‘오염물질 저방출 시공기술’을 제시하는 것을 목적으로 주요건축자재 중 접착제 및 도료가 사용되는 공정을 중심으로 연구를 수행하였다.

[†] Corresponding author

Tel.: +82-31-9100-546; fax: +82-31-9100-361

E-mail address: hzy81@kict.re.kr

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 주요건축자재의 시공 후 발생하는 오염물질을 보다 효과적으로 제어할 수 있는 시공방법을 제시하기 위한 것으로 주요건축자재 중 도료와 접착제를 중심으로 연구를 수행하였다. 실험 통해 얻은 개별물질들의 농도변화 추이가 대부분 서로 유사한 것으로 나타났기 때문에 분석대상오염물질을 TVOC로 한정하였다. 연구방법은 도료 및 접착제가 사용되는 공정을 온돌마루 시공 작업, 철부 도장 작업, 목부 도장 작업으로 구분하고 각 공정에서 시공방법을 달리하여 11개의 실험군을 구성하여 오염물질을 측정하는 방식으로 진행하였다. 실험은 동일한 조건의 mock-up 실험실에서 이루어졌으며 측정결과를 바탕으로 각 공정에서의 시공 시 고려사항 및 효과적인 저오염 시공기술을 도출하였다.

2. 온돌마루 접착 시 환기 및 걸레받이 시공 시기에 따른 오염물질 방출 특성

2.1 실험 개요

본 실험에서는 온돌마루시공 시 접착제의 사용량, 접착제의 도포방법, 시공과정 중 처리방법에 따라 4개의 실험군을 설정하고 각 실험군의 오염물질방출정도를 평가하였다. 실험이 진행되는 과정에서 동일한 오염물질 방출조건을 형성하기 위해 피착제인 온돌마루는 동일한 자재를 동일량 사용하였으며 걸레받이 부착에 따른 오염물질 방출량이 실험결과에 미치는 영향을 최소화 하도록 걸레받이 부분은 핫멜트 방식의 접착제를 사용하였다.

2.1.1 실험방법

본 실험은 한국건설기술연구원 부지 내에 위치하고 있는 mock-up 실험동의 5개의 실험실(발코니 포함 바닥면적 14.19㎡, 실체적 32.64㎡)에서 진행되었다. 모든 측정은 ‘실내공기질 공정시험방법’에 준하여 실시하였으며, 외부영향을 최소화하기 위해 실험기간 동안 해당 실험실은 항시 밀폐된 상태를 유지하였다. 측정은 air sampler와 TENAX-TA 고체흡착관을 이용하여 휘발성유기화합물의 농도가 하루 중 최대가 될 것으로 예상

되는 오후 2시~3시 사이에 30분간 2회 포집을 실시하였으며 공정시험법상의 시료채취 위치인 실의 중앙의 높이 1.2~1.5m범위 내에서 시료를 채취하였다. 실험조건을 정리하면 다음과 같다.

- 시료의 채취 : ‘실내공기질 공정시험방법’에 따라 30분간 3.0L를 2회 채취
- 측정시간 : 오후 2시~3시
- 난방조건 : 항시 난방 (set temperature : 25℃)
- 포집장비 : TENAX-TA 고체흡착관



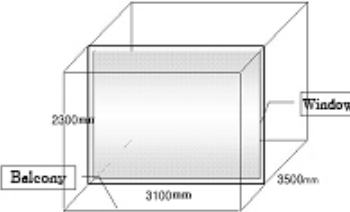
	The facade	The rear
Mock-up house		
Room size		

Table 1 The present condition of mock-up house

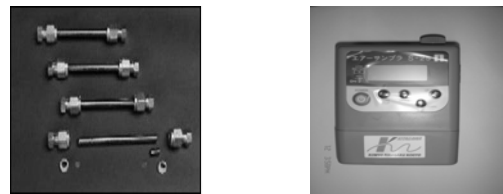


Fig. 1 TENAX-TA tube and personal air sampler

2.1.2 실험 케이스

온돌마루 시공과 관련된 실험군은 환기의 유무, 걸레받이의 시공시기, 접착방법, 합판마루의 이격 유무에 따라 4개로 구성하였다. 각 실험군의 주요내용은 다음과 같다.

- Case1 : 합판마루 온통접착 후 지속적인 강제급기(0.8회 유지)+걸레받이 당일시공
- Case2 : 합판마루 온통접착 후 10mm이격(인위적인 Edge effect발생), 걸레받이 지연 시공
- Case3 : 합판마루 온통접착+걸레받이 당일시공
- Case4 : 합판마루 선 접착, 10mm이격(인위적인 Edge effect발생), 걸레받이 지연 시공

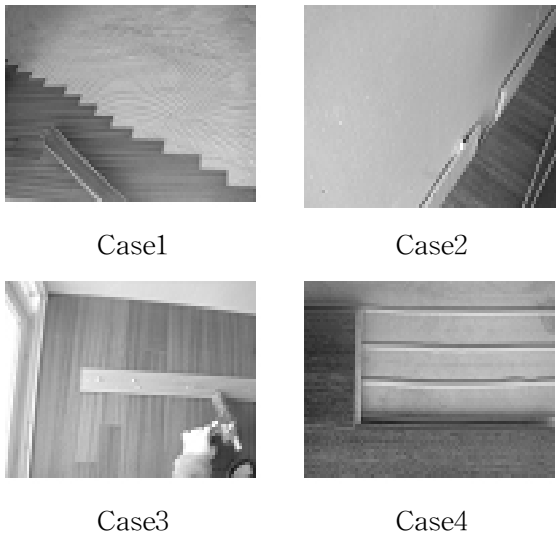


Fig. 2 Experimental picture of case1~4

2.2 실험 결과 및 분석

측정 결과를 통해 케이스 별 오염물질 방출량과 변화 추이를 살펴보고 그에 대한 비교·분석을 실시하였다.

- 1) 14일을 기준으로 TVOC 방출량은 지속적인 강제급기를 실시한 case1이 $353.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 낮은 수치를 나타냈으며, 현재 가장 일반적으로 쓰이는 온통접착 후 걸레반이를 바로 시공하는 경우가 $2,660.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높은 수치를 보였다.
- 2) 합판마루 온통접착 및 걸레반이를 당일 시공한 case3에서는 초기농도가 낮게 나타났으나 시간경과에 따라 방출량이 증가하는 추세를 보였다. 이는 접착제에서 방출되는 오염물질이 시공초기에 밀폐된 구조로 인하여 초기방출이 늦어지기 때문인 것으로 판단된다.
- 3) 접착제사용량을 줄이고 인위적으로 Edge effect를 발생시킨 case4의 경우는 온통접착 방식의 1/3 수준으로 접착제를 사용하여 오염물질의 절대량 감소 효과가 나타나야 하지만 인위적인 방출축진을 통해 초기 방출량은 높게 나타났다.
- 4) 환기를 제외하고 시공법에 따른 감소 효과는 전체적으로 접착제사용량을 줄이고 방출축진을 통해 초기 오염물질을 다량 배출한 case4가 장기적인 측면에서 우수한 것으로 분석된다.

(Unit $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Passage	Case1	Case2	Case3	Case4	The air
Initial	599.9	574.2	588.5	427.5	164.7
1	143.2	930.2	1,118.5	1,086.7	164.7
2	310.0	1,193.5	1,948.2	1,535.2	332.8
3	171.6	1,242.4	1,598.7	1,343.3	385.8
5	309.4	1,127.2	1,668.6	1,316.5	55.7
7	293.1	1,602.8	2,181.6	1,524.9	72.1
14	353.9	1,594.4	2,660.5	1,296.7	206.6

Table 2 Amount of emission by case (TVOC)

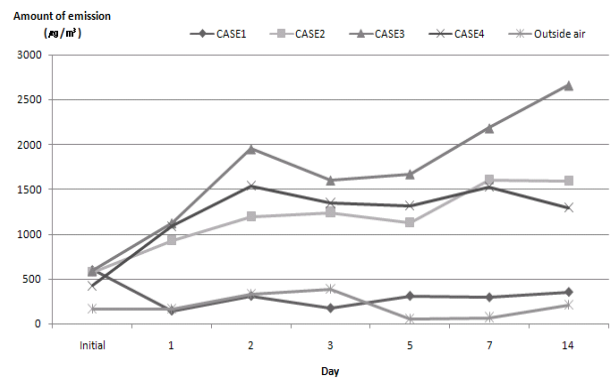


Fig. 3 Amount of emission by case (TVOC)

2.3 시공 시의 고려사항

본 실험의 측정결과를 바탕으로 온돌마루 시공시 오염물질 방출 저감을 위한 고려사항을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 오염물질저감을 위해서는 시공 후 초기제어가 중요하며 환기장치가 설치된 경우 지속적인 급기를 통한 외기공급을 통해 실내농도를 낮춤으로써 오염물질의 농도 차이를 크게하여 초기 방출속도를 높이고 배출된 오염물질은 신속하게 외부로 배출되게 함으로써 추가적으로 실내마감자재에 흡착되는 것을 최소화 하는 것이 중요한 것으로 나타났다.
- 2) 환기를 제외하고 시공방법에 따른 감소효과는 선접착 방식을 통해 전체적으로 접착제사용량을 줄이고 합판마루와 벽 사이를 10mm 이격시켜 초기 오염물질의 방출을 촉진시킬 경우 장기적인 측면에서 우수한 것으로 분석되었다.
- 3) 시공초기에 접착제와 자재절단면에서 방출되는 오염물질의 대기 중 방출을 원활하게 하여 자재내부에 고농도로 존재하는 오염물질을 입주 전까지 지속적으로 배출해주는 것이 입주 후 농도를 낮추는 효과가 있는 것으로 판단된다.

3. 도장작업 시 환기 및 격리방법에 따른 오염물질 방출 특성

3.1 실험 개요

본 실험에서는 유성도료 도장작업 시, 환기의 유무 및 종류, 도장 위치, 격리 방법 등에 따라 4개의 실험군을 설정하고 각 실험군의 오염물질방출정도를 평가하였다.

초기 고농도 상태가 되는 작업장에 대해서 자연환기를 이용하여 실내공기오염물질을 제거하는 경우와 외기에 면하는 발코니에서 도장작업을 실시하고 일정기간 경과 후 실내에 반입할 경우, 작업 시 자연환기가 어려운 상황을 가정하여 강제배기를 실시한 경우를 비교하여 실험하였다. 실험자재는 KS M6020 에나멜도료와 KS M6040 방청도료인 광명단을 사용했으며 방화문 시편의 치수는 30평형의 평균사용면적을 기준으로 시료 부하율을 고려하여 1.49m²로 결정하였다. 또한 현장사용실태를 조사한 결과, 광명단은 현장반입 전 공장에서 붓이나 스프레이로 도장 후 반입되는 것으로 조사되어 본 실험에서도 현장 도장작업은 실시하지 않고 광명단을 도포하고 24시간이 경과한 후에 현장에 반입하여 에나멜도료를 도포하였다. 도장재는 유성에나멜페인트 (530g/L이하), 에나멜신나(KS M6060-1종)을 10% 희석하여 사용하였다.

실험 시 사용한 격리방법은 현장에서 도장작업 시 사용되는 방수비닐을 이용하였으며 메스킹 테이프를 이용한 고정을 실시하였다.

3.1.1 실험 방법

본 실험은 2장의 실험과 동일한 방법 및 조건으로 진행하였다.

3.1.2 실험 케이스

철부도장 작업과 관련된 실험군은 환기의 유무 및 방식, 도장 위치, 격리 방법 등에 따라 4개로 구성하였다. 각 실험군의 주요내용은 다음과 같다.

- Case5 : 방화문틀 도장(실내 도장, 창문개방)
- Case6 : 방화문틀 도장(발코니 도장, 창문밀폐)
- Case7 : 방화문틀 도장(발코니 도장, 창문밀폐), 문틀부 추가밀폐

Case8 : 방화문틀 도장 (발코니 도장, 내부창호 밀폐/외부창호 개방유지)

Case9 : 방화문틀 도장 (실내도장, 창문 개방, 24시간 강제배기)

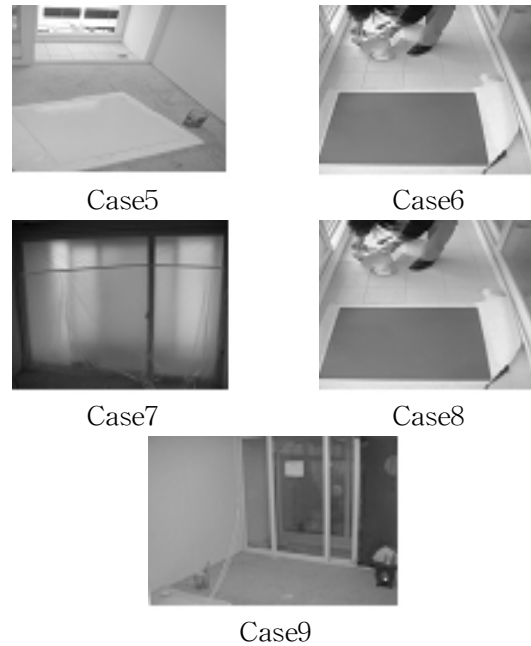


Fig. 4 Experimental picture of case5~9

3.2 실험 결과 및 분석

측정 결과를 통해 케이스 별 오염물질 방출량과 변화 추이를 살펴보고 그에 대한 비교·분석을 실시하였다.

- 1) 14일을 기준으로 도장작업 시 자연환기를 실시한 case5와 외기에 면하는 발코니에서 도장작업 실시 후 현장 반입한 case7에서 각각 각각 958.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 580.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 낮게 나타났으며 다음으로 시공 후 24시간 강제배기를 실시한 case9에서 낮게 나타났다.
- 2) 발코니 도장작업 후 시험편을 존치하여 실내에 미치는 영향을 확인한 결과, 내외 창호를 밀폐한 상태를 유지한 경우, 시험편에서 방출되는 오염물이 실내로 유입되는 것을 확인하였다. 도장작업 시 발생한 오염물은 기밀도가 낮은 주변실로 농도 차에 따라 유입된 것으로 판단된다.
- 3) 외부창호를 개방하고 내부창호를 밀폐한 경우 오염물이 주로 외부로 배출되지만 풍압에 의

한 실내유입이 발생한 것으로 판단된다.

- 4) 외부창호를 개방하고 내부창호에 대한 커버링을 실시한 경우 오염물이 실내로 유입되는 부분이 상당량 감소하는 것으로 나타났다.

(Unit $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Passage	Case5	Case6	Case7	Case8	Case9	The air
Initial	578.6	496.1	631.4	2,092.7	1,304.5	164.7
1	578.6	496.1	631.4	2,092.7	1,304.5	164.7
2	2,131.3	23,151.9	1,203.9	20,455	3,533.4	332.8
3	347.9	20,033.3	681.9	12,307.5	2,249.5	385.8
5	1,271.8	15,397.7	463.3	4,363.8	2,637.6	55.7
7	1,368.7	11,885.7	699.3	6,574.8	2,204.4	72.1
14	958.6	3,838.6	580.3	3,718.9	1,930.3	206.6

Table 3 Amount of emission by case (TVOC)

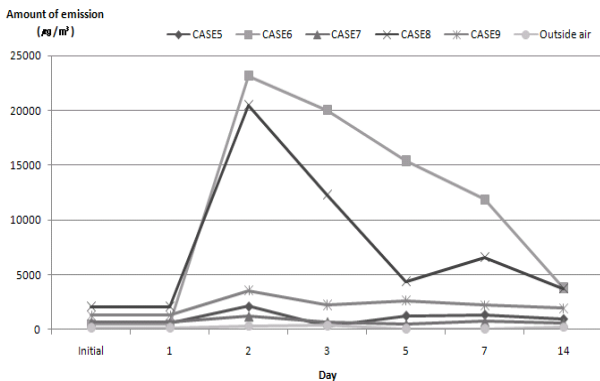


Fig. 5 Amount of emission by case (TVOC)

3.3 시공 시의 고려사항

본 실험의 측정결과를 바탕으로 철부 도장 작업에서의 오염물질 방출 저감을 위한 시공 시의 고려사항을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 도장작업 시 작업장과 실내와의 격리가 중요하며 현장작업에 지장이 적은 격리방안을 고려해야 한다.
- 2) 도장작업 시 환기에 따른 효과가 가장 크며 도장작업 완료 후 초기 환기가 중요한 것으로 판단된다.
- 3) 강제 급배기방식의 경우 도장면에 빠른 유속의 외기가 공급되기 때문에 이물질이 도장면을 오염시킬 수 있고 조기건조에 따른 도막의 물성저하가 발생할 수 있으므로 도장면에서 저속으로 공기의 순환이 발생할 수 있도록 관리가 필요하다.

4. 도장작업 시 도장시기에 따른 방출 특성

4.1 실험 개요

본 실험에서는 목부 도장작업 시 도장시기에 따라 2개의 실험군을 설정하고 각 실험군의 오염물질방출정도를 평가하였다.

현장에서 도장작업을 실시하는 자재 중 목질자재를 대상으로 실험을 수행하였으며 현장에서 직접 도장을 실시할 경우와 도장을 완료하고 현장에 반입하여 조립할 경우를 비교하였다. 시편에 대한 도료사용량은 30평형 공동주택에 사용되는 목문의 시료부하를 고려하여 73g * 3회 (하,중,상도)로 결정하였다. 사용된 자재는 스파바니시, KS M6050-2종이며 신나희석비율을 유지하기 위해 인켄방식 사용하였다. 도포방식은 일반적으로 현장에서 사용되고 있는 붓도장 방식을 채택하였다.

4.1.1 실험 방법

본 실험은 2장의 실험과 동일한 방법 및 조건으로 진행하였다.

4.1.2 실험 케이스

목부도장 작업과 관련된 실험군은 도장시기에 따라 2개로 구성하였다. 각 실험군의 주요내용은 다음과 같다.

Case10 : 현장도장 (작업장내 하,중,상도마감)

Case11 : 도장완료 후 반입 (상도 마감 48시간 이후 반입)



Case10

Case11

Fig 6 Experimental picture of case10~11

4.2 실험 결과 및 분석

측정 결과를 통해 케이스 별 오염물질 방출량과 변화 추이를 살펴보고 그에 대한 비교·분석을 실시하였다.

가) 바니시의 경우 case12에서 외부 도장을 실시한 시료를 48시간이 지난 다음 실내로 반입할 경우 최대 37배 이상 오염물질의 농도가 저감

되는 등 전체적인 오염물질 방출량이 매우 낮아지는 것으로 확인되었다.

나) 바니시가 도포되는 목문의 경우 초기에는 용재의 흡수가 일어나고 도막이 건조 될 때 까지 휘발성분이 방출되게 되며, 건조된 이후에는 도막과 자재에 흡수된 용재부분의 방출이 지속되는 것으로 판단된다.

(Unit $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Passage	1	3	7	9
Case11	151,384.6	141,127.8	108,563.8	21,375.8
Case12	5,198.0	3,782.2	5,373.3	5,286.5

Table 4 Amount of emission by case (TVOC)

4.3 시공 시의 고려사항

본 실험의 측정결과를 바탕으로 목부 도장 작업에서의 오염물질 방출 저감을 위한 시공 시의 고려사항을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 바니시를 사용하는 목질자재의 실내도장 시 초기 48시간동안 환기에 주의한다.
- 2) 바니시도장 자재는 가급적 외부에서 도장을 실시하고 최소 48시간 이상 외부에서 양생 후 현장에 반입 조립한다.
- 3) 마감성 측면에서 현장에서 바니시를 처리할 경우 하도 및 중도를 완료한 상태에서 48시간 이후 현장에 반입과 조립을 실시하며 현장에서 상도마감을 실시하는 것이 효율적인 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 주요건축자재의 오염물질 저방출 시공기술을 제시하는 것을 목적으로 도료 및 접착제가 사용되는 공정에서 시공방법에 따른 오염물질의 방출량 및 농도변화추이를 비교·분석하였다.

- 1) 온돌마루의 경우는 시공 후 초기 제어가 중요하며 환기장치가 설치된 경우 지속적인 급기를 통하여 초기오염물질 방출량을 늘리고 다른 내장재에 흡착되기 전에 외부로 방출하는 것이 효과적인 것으로 나타났다. 또한 선접착 방식을 통해 전체적으로 접착제사용량을 줄이고 합판마루와 벽 사이를 10mm 이격시켜 초기 오염물질의 방출을 촉진 시키는 시공법이 장

기적인 측면에서 우수한 것으로 분석되었다.

- 2) 철부 도장작업에서도 환기에 따른 오염물질 저감효과가 가장 크게 나타났으며 시공 후 초기 24시간의 강제배기만으로도 큰 효과가 보였다. 또한 발코니에서 도장작업을 실시하고 존치할 경우, 내외창호를 모두 밀폐한 상태에서 농도차에 의한 오염물질의 실내유입이 확인되었는데 추가적인 밀폐작업을 실시할 경우 오염물질의 유실내입을 크게 줄일 수 있는 것으로 나타났다.
- 3) 바니시를 사용하는 목질자재의 도장작업은 시공 후 48시간동안 환기에 주의해야 하며 가급적 외부도장을 실시하고 최소 48시간 이상 외부에서 양생 후 현장에 반입하는 것이 효과적인 것으로 분석되었다.

참고 문헌

1. ASHERAE, 2001, ASHRAE Handbook-Fundamentals.
2. H. B. Awbi, 1991, Ventilation of Buildings, E & FN SPON.
3. Elizabeth L. Anderson. et. al., 1998, Risk Assessment and Indoor Air Quality, LewisPublishers.
4. Milton Meckler, 1997, Improving Indoor Air Quality through Design, Operation and Maintenance, The Fairmost Press.
5. Fang, L. et. al., 1996, The Impact of Temperature and Humidity on Perception and Emission of Indoor Air Pollutants, Proceedings in Indoor Air'96.
6. Achitectural institute of Korea, 2006, The Korea architectural standard specification.
7. Lee, Y. G., 2004, A Study on the Development of the design support program for reduce indoor air pollutants in mian buildings, K.I.C.T Report.
8. Korea National Housing Corporation, 2006, Specialty specification.
9. Ssangyong Engineering Construction Company, 2005, Analysis of construction defect case.