

# 건축 구조물 외단열 시스템의 열화 및 누수현상이 구조물 노후화에 미치는 영향 분석에 관한 연구

- 초고층 OO 아파트 외벽 누수 사례를 통하여 -

## Analysis the influence of the exterior insulation deterioration and water leakage on the aging of concrete structure

박연진\*  
Park yeun-Jin

박진상\*\*  
Park Jin-Sang

선윤숙\*\*\*  
Seon Yun-Suk

오상근\*\*\*\*  
Oh, Sang-Keun

### Abstract

We studied the example of various side on effect the aging of exterior materials for concrete structure by analyzing the reason of water leakage in exist serviced skyscraper apartment. For this side, we would like to suggest the proper waterproofing materials and construction methods resulted in the mechanical performance test. So, it could be ensured the leakage safety for using residence facility and crowd utilization after repairing. It may maximize the durability for the concrete structure.

키워드 : 외단열시스템, 열화 및 누수현상, 누수 안전성, 내구성능, 물리적 성능평가

Keywords : Exterior insulation, deterioration and waterleakage, leakage safety, durability, mechanical performance test

## 1. 서론

건축물의 외벽에 쓰이는 마감재로는 천연대리석, 인조석, 금속패널 등 다양한 외벽 마감재가 사용되고 있다.

이 중 뽀칠, 흙손질 등을 이용하여 비교적 간단하게 외벽을 마감할 수 있는 재료로 “얇은 마무리용 벽바름재”가 사용되고 있다. 벽 바름재(마감도장재)는 마감 모양을 다양하게 변화시킬 수 있으며, 시공성, 경제성 등의 다양한 장점을 갖는 재료로 벽 마무리용으로 시공되어진다.

그러나 바름재의 경우 내후성의 품질기준과 실제 현장에서 느끼는 변색과 탈색정도가 다르고 시험항목의 적정성 등의 문제점을 가지고 있다. 또한 바탕 바름재는 제품 특성상 가장 중요한 부착강도가 KS에서 정하는 기준치 이상이라고는 하나 외장 마감(단열재면)면이 탈락되는 문제점이 제기되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 “얇은 마무리용 벽바름재”로 시공한 초고층 OO 아파트의 외벽의 누수사례를 통하여 외단열 시스템의 열화 및 누수현상이 구조물 노후화에 미치는 영향에 대한 다양한 각도의 사례를 연구 검토하고, 물리적 성능평가 및 분석에 따른 적절한 방수공법과 재료를 제안함으로써 누수 안전

성 및 내구성능을 확보하여 다중이용시설과 주거시설의 쾌적한 주거환경을 제공함에 그 목적이 있다.

## 2. 초고층 OO 아파트 현장 개요

본 연구의 초고층 OO 아파트 단지는 4개동(A, B, C, D동)으로 구성되어 있으며, A, B동은 주거전용 25층, C, D동은 저층부 판매시설을 제외하고 총 38층으로 구성된 철근 콘크리트 벽식 구조(RC조)이다.

1) 준공년도 : 2003년 7월 구조물 준공

2) 건축면적 : 27,102,330㎡

3) 외벽면적 : 외벽 마감재 시공 기준 약 82,000㎡

(콘크리트 외벽 위 EPS 보드 설치 고정 후 직포 보강형 바탕 바름재 시공 및 외벽 마감재 도포)

1층은 기둥과 슬래브로 이루어져 개방된 필로티 또는 로비, 관리실, 엘리베이터 홀 등의 공용공간으로 사용되고 있다. 특히 C, D동의 경우 저층부에는 판매 영업장이 위치해 있으며, 1층 및 판매영업장은 기둥식 구조이며, 주거공간은 벽식 콘크리트 구조로 구성되어 있다. 본 초고층 주상복합 아파트 건축 구조물 외관 전경은 사진. 1과 같다.

\* 정회원, 서울산업대학교 주택대학원

\*\* 정회원, 서울산업대학교 주택대학원

\*\*\* 정회원, 서울산업대학교 주택대학원

\*\*\*\* 정회원, 서울산업대학교 건축학부 교수, 공학박사



사진 1. 건축구조물 외관 전경

### 3. 외벽 누수원인 조사 및 평가

본 연구의 초고층 00아파트에 대한 누수원인을 조사한 결과 아래와 같이 다양한 문제점을 발견 할 수 있었다.

#### 3.1 EPS 보드 조인트부 마감층 균열 및 파손

본 연구의 초고층 00아파트 외벽의 단면 형태는 그림 1과 같이 콘크리트 외벽 위에 EPS 보드(단열재)를 설치·고정한 후 바탕바름재 및 외벽 마감재를 시공함에 따라, 조인트부 거동 및 바탕 마감층의 신축에 대응하기 위한 중심 보강재가 설치되어 있다.

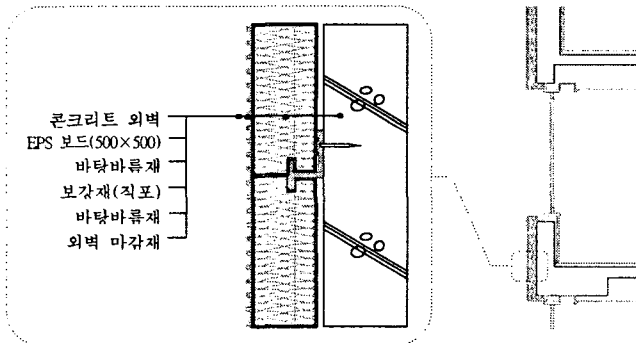


그림 1. 외벽 마감 시공 상세단면도

그러나 EPS 보드(500×500)상부에 시공된 외벽 마감재의 경우 EPS 보드 조인트부의 반복적인 진동 및 거동에 의해 파단(破斷)된 것으로 판단되며, 이렇게 파단된 마감층 손상부는 지속적인 빗물의 유입에 의해 들뜸현상이 가속화되고 누수 유입지점 및 누수경로가 점차 늘어나서 결국 누수량이 더욱 증가하는 결과로 이어질 수 있다.



사진 2. EPS 조인트부 균열

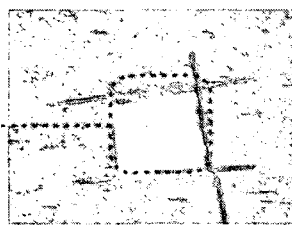


사진 3. 균열부 커팅 관찰

#### 3.2 EPS 보드 조인트 균열부 실링재 보수시공의 문제점

외단열시스템 공법적용으로 EPS 보드 조인트부 외벽 마감재의 균열로 인해 외벽 누수사고가 발생되었으며, 이로 인해 지속적인 외벽 균열부 조인트 실링재 보수 작업이 진행중에 있다.

그러나 본 연구의 초고층 00아파트의 경우 외벽 마감재의 거동 및 진동이 반복됨에 따라, 사진 4와 같이 실링재 보수 후에도 추가적인 균열이 발생되고 있다.

특히, 본 구조물의 경우 초고층 외벽 보수작업으로 사진 5와 같이 균열부 실링작업이 제대로 이루어질 수 없어 시공불량 상태가 많이 발견되어, 보수된 실링재 위 재 보수시 외벽 마감재의 탈락 현상이 발생될 가능성이 높다.

따라서 외벽 마감재의 균열부 보수 방안은 보다 장기적인 유지관리 차원에서 근본적인 대책 마련이 시급할 것이다.

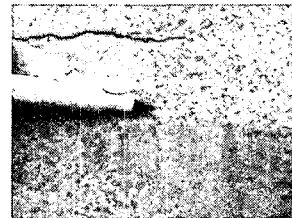


사진 4. 실링재 보수 후 추가 균열



사진 5. 실링재 위 마감재 탈락

#### 3.3 창호 하단부 구배 불량

각 세대별 창호 하단부의 경우 사진 6과 같이 구배불량 시공으로 신속한 배수가 이루어 질수 없는 관계로 우천시 물고임 현상이 발생되고 있다.

따라서 일부 세대에서 시방서 규정에 따른 적정 구배가 형성되지 않은 것으로 관찰되었으며, 이에 따른 피해 사례는 다음 「4」 창호 하단부 동결응해 피해」에서 확인할 수 있다.

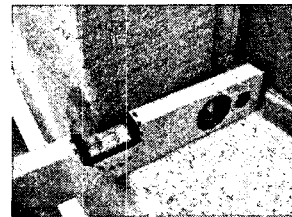
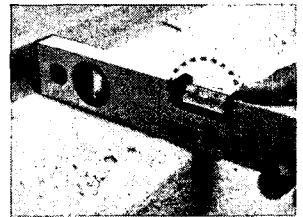


사진 6. 현장 구배측정



#### 3.4 창호 하단부 동결 응해 피해

본 연구의 초고층 00아파트의 경우 신축 구조물로 외벽 마감재의 동결응해 피해는 적은 것으로 판단되나, 사진 7-8과 같이 일부 세대 창호 하단부 물빠짐이 양호하지 않은 개소에서 동결응해에 따른 마감층의 박리현상이 발견되고 있어 장기적인 내구성능 저하가 예상된다.

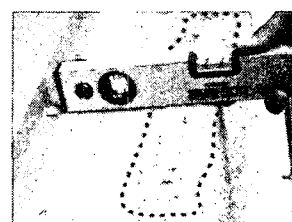


사진 7. 구배 불량에 따른 동결응해

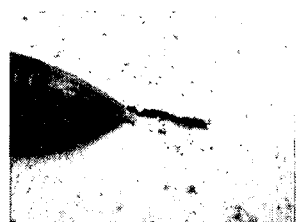


사진 8. 동결응해에 따른 박리

### 3.5 핀홀(Pin Hole) 발생

본 연구의 초고층 〇〇아파트 외단열 시스템의 바탕 바름재는 균열방지 및 부분적인 박리, 박락을 방지하기 위해 보강재(유리섬유 직포)를 설치하였다. 이렇게 설치된 직포 보강재는 바탕 바름재의 중간에 위치해야 하며, 외부로 노출되어서는 안 된다. 그러나 사진. 9-10과 같이 창호 주변부 모퉁이 부분의 경우 시공당시 직포의 함침상태가 양호하지 않아 사용된 직포(직포 섬유간격 약 3.7mm정도)의 노출에 따른 핀홀(Pin Hole) 발생이 종종 발견되고 있다.

이렇게 발생한 핀홀은 장기적으로 동결융해로 인해 방수성능은 물론 내구성 감소에 직접적인 원인이 될 수 있다.



사진 9. 직포 함침 불량

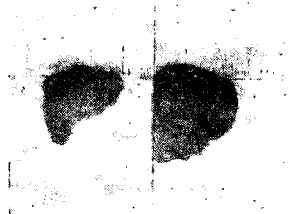


사진 10. 핀홀의 크기(약3mm정도)

### 3.6 도막 두께 불량

규정 도막두께보다 미달되는 마감층의 경우 물리적 강도를 저하시킬 뿐만 아니라, 사용과정에서 파손 및 찢김으로 수밀한 마감층을 얻기 어렵게 된다. 사진. 11-12와 같이 외벽 마감재의 치장효과(색상표현) 및 시공 조닝(Zoon-ing)과정에서 테이프 접착면의 시공불량 개소가 발견되고 있다.

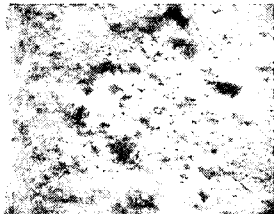


사진 11. 마감재 시공 불량

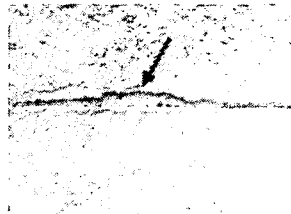


사진 12. 테이프 제거시 마감층 박리

### 3.7 창호 셀리콘 처리불량(셀리콘 접착면 이물질)

본 연구의 초고층 〇〇아파트 창호 셀리콘 처리부의 시공상태를 확인한 결과 대체적으로 양호한 상태를 유지하고 있으며, 특히 사진. 13과 같이 최근 누수사고와 연계하여 외벽 보수방안으로 추가적인 창호 주변 셀리콘 작업이 시행되었던 것으로 판단된다.



사진 13. 창호 셀리콘 처리 불량



사진 14. 창호 셀리콘 들뜸 발생

다만, 사진. 14와 같이 창호 주변 셀리콘 설치 과정에서 알루미늄 창틀 및 외벽 마감재의 이물질 등으로 셀리콘 접착부의

일부 들뜸이 발견되었으나, 누수 유발 가능성이 큰 들뜸 및 박리부는 발견되지 않았다.

## 4. 외벽 누수진단 및 시험평가

본 연구의 초고층 〇〇아파트에 대한 누수진단은 초고층 아파트 건축 구조물로써 외벽 누수 진단시 접근이 곤란하며, 곤돌라 설치 작업의 제약으로 전수 검사가 불가능하였다. 따라서 각 동별 곤돌라 설치 위치(A동:4호, B동:4호, C동:6호, D동:4호 라인)에 진단이 진행되었으며, 누수사고 상황에 따라 각 동별 시험평가가 구간을 설정하여 현장 시험을 진행하였다.

현장 누수진단 시험은 총 9개 항목 중 6개 항목(외벽 풍속 측정, 외벽표면 온도 측정, 외벽 마감층의 균열 측정, 부착강도 시험, 외벽 마감층의 도막두께 측정, 외벽 마감재의 채취 검사)에 대한 시험 평가를 아래에 나타내었다.

### 4.1 외벽 풍속 측정(디지털 풍속계)

본 연구의 초고층 〇〇아파트의 경우 A, B동은 25층, C, D동은 38층으로 약130m 정도의 초고층 아파트로 외벽에 작용하는 풍속에 의해 외벽 마감재의 진동을 유발시킬 수 있다. 표.1은 각 동별 곤돌라 설치 위치에 따라 디지털 풍속계를 활용하여 각 층별 외벽에 작용하는 풍속을 측정하였다

표 1. 동별 풍속량 측정 결과

구 분	각 동별 풍속량 측정치(m/s)				비 고
	A동	B동	C동	D동	
31~38층	-	-	2.01	2.30	
21~30층	2.94	1.93	1.78	1.82	
11~20층	2.82	1.78	1.18	1.16	
7~10층	2.34	1.19	0.93	0.73	
1~6층	1.86	0.81	상가	상가	

※ AB동 총 층수는 25층, C,D동 총 층수는 38층 임.

현장 외벽에 작용하는 풍속은 최상층으로 갈수록 대체적으로 상승하는 경향이 있는데, 이는 저층부에 비해 고층부로 갈수록 주변 건축 구조물의 영향을 적게 받게 됨에 따라 점차 풍속이 커지는 것으로 판단된다.

### 4.2 외벽 표면 온도 측정(디지털 표면 온도계)



사진 15. 창호하단(34.2℃)

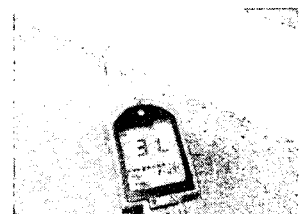


사진 16. 외벽(31.3℃)

일반적으로 동일재료라 할지라도 빛을 받는 각도에 따라 표층부의 온도차가 생기며, 이에 따라 열팽창률이 달라지므로 균열 발생 가능성이 커지게 된다. 따라서 당 주상복합 아파트 외

벽의 다양한 개소의 표면 온도를 측정하여 열팽창에 따른 균열 발생 환경 유무를 관찰하였다.

측정결과 사진. 15와 같이 창호하단의 표면 온도는 34.2℃이고, 외벽 표면 온도는 사진. 16과 같이 31.3℃로 온도차이가 약 3℃정도로 크게 나타나고 있어 동일 재료라 할지라도 일사 각도에 따른 온도차 즉, 열팽창에 따른 균열 발생 가능성이 높을 것으로 판단다.

#### 4.3 외벽 마감층의 균열 측정(디지털 균열 측정 장치 등)

외벽 위에 EPS 보드(단열재)를 설치·고정한 후 바탕 바름재 및 외벽 마감재를 시공하였다. 이때, 조인트부 거동 및 바탕 마감층의 신축에 대응하기 위한 중심 보강재가 설치되어 있으나, EPS 보드(500×500)상부에 시공된 외벽 마감재의 경우 EPS 보드 조인트부의 반복적인 진동 및 거동에 의해 피로 파단(破斷)된 것으로 판단된다.

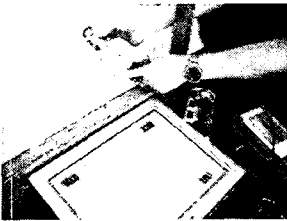


사진 17. 외벽 균열 관찰

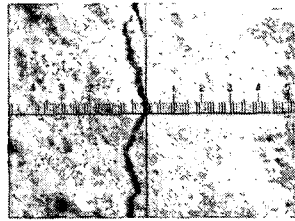


사진 18. 균열 폭 촬영

본 디지털 균열측정 장치를 통해 외벽 마감재 조인트 파단부의 균열 폭을 관찰한 결과 최소 0.1~1.5mm까지 다양하게 관찰되었으며, 특히 창호 하단부의 경우 10mm이상의 균열도 관찰되었다.

#### 4.4 부착강도시험(일본건설성연구소식)<sup>1)</sup>

시험 개소는 A, B, C, D동 각각 총 3개소로 하였고, 시험 후 외관의 손상이 불가피하고 우천시 누수사고가 우려됨에 따라 부착 및 샘플 채취는 현장관계자와 협의 하에 옥탑층으로 한정하여 시행하였다. 각 시험 개소는 측정값의 편차를 고려하여 일반부와 균열부(EPS 보드 조인트부)를 구분하여 시험하였다.



사진 19. 에테치먼트 주변 커팅



사진 20. 부착강도 시험

현장 부착강도 시험결과 표.2와 같이 평균 A동은 2.39kgf/cm<sup>2</sup>, B동은 2.55kgf/cm<sup>2</sup>, C동은 2.11kgf/cm<sup>2</sup>, D동은 2.47kgf/cm<sup>2</sup>로 측정되었다. 특히, B, D동에서는 일부 균열부위를 대상으로 부착강도를 측정하여 균열부위 부착강도를 확인하였으나, 측정치는 일반부와 유사한 것으로 확인되었다.

1) 부착강도 시험은 시험과정에서 부분 절취함에 따라 누수발생이 우려되어 현장 관계자와 협의 하에 옥탑 외벽에서 시험함.

표 2. 현장 외벽 부착강도 측정 결과

측정위치	부착강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )		탈락형태	비고
	개소	평균		
A동	1개소	2.29	모체탈락	*균열부위 부착시험
	2개소	2.75	모체탈락	
	3개소	2.13	모체탈락	
B동	1개소	2.46	모체탈락	
	2개소	2.76	모체탈락	
	3개소	2.42	모체탈락/계면탈락	
C동	1개소	2.32	모체탈락	*균열부위 부착시험
	2개소	1.79	계면탈락	
	3개소	2.21	부착강도(kgf/cm <sup>2</sup> )	
D동	1개소	2.35	모체탈락	
	2개소	2.84	모체탈락	
	3개소	2.23	모체탈락	

#### 4.5 외벽 마감층의 도막두께 측정(확대경)

시공당시 관련시방서의 두께 규정은 3mm정도로, 외벽 바탕 바름재 및 마감재 시공 완료 후 도막두께가 균질해야 하며, 일정두께 이상을 준수하도록 규정하고 있다.



사진 21. 기존 마감층 두께 측정

현장에서 채취된 외벽 바탕 바름재 및 마감재의 도막두께 측정현황은 사진. 21과 같이 시행 하였으며, 각 동별 최상층 옥상부에서 기존 마감층을 대상으로 부착강도를 측정한 후 에테치먼트 하부에 부착된 마감층의 도막두께를 측정한 결과 바탕 바름재층의 두께는 평균 약1.0mm정도, 표면 마감재의 두께는 평균 1.37mm 정도로 나타나고 있다.

그러나, 각 세대별 창호 하단부에서 일부 들뜸이나 박리 부분의 마감층의 경우 약5mm 이상으로 측정되어 시공당시 일정한 도막두께가 확보되지 않은 것으로 확인되었다.

표 3. 현장 외벽 마감재의 도막두께 측정 결과

측정위치	두께측정 (mm)		전체평균	비고
	바탕바름재층	표면 마감재층		
	평균	평균		
A동	1.0	1.2	2.2	
	0.9	1.3	2.2	
	0.9	1.77	2.67	
B동	1.4	1.8	3.2	
	1.33	1.17	2.5	
	1.0	1.27	2.27	
C동	1.37	1.2	2.57	
	1.33	1.33	2.66	
	1.47	1.37	2.84	
D동	1.07	1.33	2.4	
	0.87	1.5	2.37	
	1.1	1.3	2.4	

#### 4.6 외벽 마감재의 채취 검사

균열발생의 대부분은 EPS 보드 조인트 상의 수직, 수평 또

는 45° 를 유지하고 있으며, EPS 보드 3면 접합부는 「T 형」으로 균열이 발생되는 것으로 관찰되었다.

그러나 사진. 22와 같이 방사형 균열의 발생 원인을 확인하기 위해 외벽 마감재의 채취 검사를 시행하였다.

즉, 시공된 외벽 마감층의 단면구조를 파악하여 이에 따른 적절한 보수공법의 선정은 물론, 외벽 마감층의 파단으로 인한 구조물로의 누수 유입과 그 경로를 판가름하기 위하여 채취 검사를 시행하였다.



사진 22. 표층부 방사형 균열

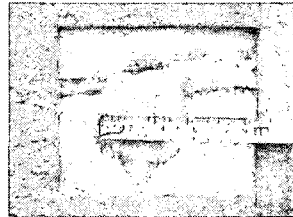


사진 23. 외벽 마감재 절취

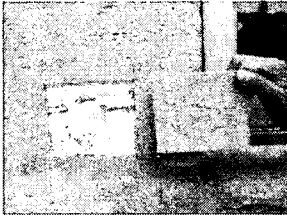


사진 24. 절취 표면



사진 25. 절취 내부면

코어 채취 결과 그림. 2에 표시한 바와 같이, 건축물 외단열 시스템 적용시 EPS 보드의 파손부를 발포 우레탄 수지로 채우는 과정에서 체적증가에 따라 마감층의 균열이 발생된 것으로 판단된다.

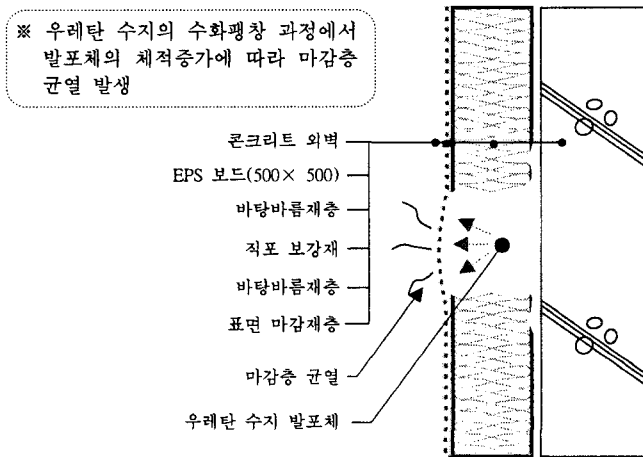


그림 2. 마감층 균열 발생 원인

특히, 마감층 균열부를 덧 바름 시공이 이루어진 것이며, 이렇게 덧 바름 시공면은 체적증가가 계속 진행됨에 따라 균열부가 추가적으로 확장된 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

본 연구에서 “초고층 OO아파트의 건축 구조물”의 누수현황 및 원인을 분석한 결과 누수지점이 외벽의 경우 외단열 시스템으로 적용된 EPS 보드의 시공조인트에서 진동 및 거동이 반복되는 과정에서 발생된 피로하중에 따른 조인트 파괴현상으로 누수가 진행된 것으로 판단된다.

이에 따라 현재 각 호실의 차양 상부 등으로 누수가 진행될 바 있다. 이러한 외벽의 균열에 따른 누수는 구조물 외벽 마감재의 장기적인 노후화가 좀더 빠르게 진행될 수 있으며, 실내 공간의 활용 및 미관에 장애가 발생됨에 따라 이에 대한 적절한 보수 방안이 수립되어야 할 것이다.

구조물의 건설에 있어 방수재 및 공법이 선정되어 사용됨에 따라 고려해야 할 사항은 단순한 일반적 특성에서부터 방수재가 처한 특수한 환경까지 충분한 검토가 선행되어야 한다.

이와 같은 검토없이 단순히 방수재 자체의 단독 물성만을 강조하면 많은 결함 및 하자 발생과 구조물의 내구연한의 단축 등 다양한 문제점이 발생할 수 있다.

따라서 추후에 시공되는 방수재료 및 공법을 대상으로 구조물별 사용조건에 맞는 시방서 및 현장 품질관리 기준이 작성되어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

1. 오상근, 콘크리트 구조물의 누수와 대처 방안에 대한 견해, 한국 콘크리트학회지 제 14권 6호 2002. 11
2. 장혁수, 오상근, 콘크리트 구조물의 방수 및 누수 보수 기술의 새로운 접근, 한국구조물 진단학회 제3권 제2호, 1999. 4
3. 임채중, 배문옥, 지하콘크리트 구조물 외부 방수공법의 기술성 및 경제성에 관한 연구, 한국콘크리트학회논문집 제 13권 1호 2001.
4. 현대건설 기술연구소, 실무자를 위한 방수공사 매뉴얼, 건설도서, 2003
5. 한국전자재시험연구원, 건축 외벽 비름재의 성능연구 2000.
6. Waterproofing Concrete Foundations(The Aberdeen Group, 1999)
7. Michael T.Kubal, 「Waterproofing : the Building Envelope」
8. 建築工事標準仕様書 同解説 JASS 8 防水工事 (日本建築學會, 2002)
9. 建築デザインの雨 仕舞と防水, 建築技術, 1992.4
10. KS F 4715-01 : 얇은 마무리용 벽 바름재
11. KS F 4719-03 : 시멘트 혼입 폴리머제 방수재
12. KS F 4920-99 : 외벽용 도막 방수재