

석탑의 퇴락현상과 보존에 관한 연구 (石塔의 頹落現狀과 保存에 關한 研究)

白 燦 圭

(文化財管理局 文化財補修課
建築事務官)

目 次

- I. 서론(序論)
- II. 석탑(石塔)의 퇴락(頹落) 및 훼손현상(毀損現狀)
- III. 퇴락(頹落) 및 훼손원인(毀損原因)
- IV. 탑(石塔)의 보존(保存) 및 수리방향(修理方向)
- V. 결론(結論)
- 1. 자연적(自然的)인 원인(原因)
- 2. 인위적인 원인(人爲的인 原因)

I. 서 론(序論)

우리 나라 석탑(石塔)의 시원형식(始原形式)이라 할 수 있는 백제시대(百濟時代)의 익산(益山) 미륵사지(彌勒寺址) 탑(塔)과 7세기 후반의 경주(慶州) 감은사지(感恩寺址) 석탑(石塔) 문화재적(文化財的) 가치(價値)가 있는 석탑(石塔)이 약 1,000기(基) 이상 남아 있다. 이 탑들은 대부분 수 백년에서 일천년 동안 갖은 풍운(風雲)을 겪고 퇴락(頹落) 손상(損傷)이 매우 심한데 근래에는 매연공해(煤煙公害)와 산성(酸性) 비로 퇴락이 더욱 가중되고 있다. 94년도에는 경북궁(景福宮) 내의 경천사(慶天寺) 십층석탑(十層石塔)¹⁾ 퇴락이 극심, 붕괴될 위험이 있어 시급히 해체하였고 탑골공원의 원각사지(圓覺寺地) 십층석탑(十層石塔)²⁾ 은 우로(雨露)의 직접적인 피해를 줄이고자 보호각(保護閣)을 설치하였다. 두 탑의 심각한 훼손 상태를 계기로 94년에는 전국의 수 많은 석조문화재들에 대한 간이 조사가 있었고 95년부터는 경주(慶州) 감은사지(感恩寺址) 삼층석탑(三層石塔)을 비롯하여 나원리(羅原里) 오층석탑(五層石塔)등 약 17기(基)의 보수공사(補修工事)³⁾가 추진되었다.

- 1) 경천사 탑은 원래 경기도 개풍군 광덕면에 있던 것을 구한말 일본 궁내 대신 田中光顯이 1905년 일본으로 몰래 반출하였던 것을 1960년 경북궁에 재건되어 국보 86호로 지정되었다. 이 탑은 第一屋身 이맛돌에 元至正 8년의조탑명이 있어 고려 忠穆王4년(1348)에 건립된 것을 알 수 있다.
- 2) 탑은 세조 13년(1467)에 건축된 이래 500년간 원 위치를 지키고 있다. 원각사는 연산군 10년(1504)에 폐사되었다.
- 3) 석탑 보존 수리를 위한 지난 4년간의 국고보조사업현황은 93년 9건, 94년 6건, 95년 17건, 96년 13건이었다. 94년 서울 도심의 경천사 및 원각사지 탑의 심각한 퇴락 상태가 제기되자 문화재관리국에서는 전국의 석조물 상태를 긴급 조사한 바 있고 그 이듬해에는 전년도에 비하

석탑의 퇴락현상(頽落現狀) 요인(要因)들은 건축되기 전부터 석재(石材)에 이미 내재(內在)되어 있고 석탑이 조성된 이후로부터는 구조물(構造物)로서 받는 영향이 메모리되므로 외관에 나타난 물리적 현상을 짧은 시간에 조사하여 보수계획을 결정하기는 매우 어렵다. 그러므로 석탑의 보존을 위해서는 다각적인 분야의 기초연구(基礎研究) 자료 축적(資料蓄積)이 필요할 것이나, 90년대 서울 대리석 탑의 퇴락 문제로 시도된 몇몇 외에는 극소수에 불과하다.

본고(本稿)에서는 제한적이거나 전라남·북도 일원에 소재한 석탑 50여기와 근래에 보수된 경주 감은사지(感恩寺址) 탑(塔)과 나원리(羅原里) 탑(塔)을 대상으로 상륜(相輪)부터 기초(基礎)까지 각 부위별 퇴락(頽落), 훼손(毀損)의 공통현상을 조사하여 과학적(科學的)인 석탑보존(石塔保存), 보수방향(補修方向)을 제안하고자 한다.

II. 석탑(石塔)의 퇴락(頽落) 및 훼손현상(毀損現狀)

1. 석탑(石塔) 부위별(部位別)로 나타난 현상(現狀)

석탑은 형식에 따라서 여러 가지로 분류하지만 구조적으로는 상륜(相輪), 탑신(塔身), 기단(基壇),의 세 부분으로 축조하는데 보통 인근 지역에 분포된 석재⁴⁾를 사용하게 된다. 탑신부는 옥개석(屋蓋石)과 탑신석(塔身石)으로 구성되어 3, 5, 7층 등으로 중첩되고 있으며 기단부는 기단 상·하부에 지붕역할을 하는 갑석(甲石)과 사방 벽면을 둘러싼 면석(面石)으로 이루어져 한 층이나 두 개의 층을 갖춘다. 기단의 최하 단에는 지대석(地帶石)으로 마감하고 기초는 자연석과 흙을 혼합(混合)하여 적심(積心)을 채우거나 기초 부지를 달구로 다져서 탑을 설치하기도 하며 간혹 자연(自然) 암반(巖盤) 위⁵⁾에 탑을 직접 세우기도 한다.

[상륜부(相輪部)]

탑의 가장 높은 곳 상륜부는 보륜(寶輪), 양화(仰花) 등을 석재로 만들어 찰주((철가)鐵櫃)에 구슬같이 꿰어 설치하는 것과 이러한 장식을 청동(靑銅)(또는 금동(金銅))으로 설치하는 것, 그리고 중·소규모의

여 많은 석탑이 보수되었다.

- 4) 우리 나라 석탑 석질은 주로 흑운모 화강석으로 대표적인 것은 정림사지오층석탑 및 개태사지오층석탑이 있으며 그 다음으로는 각석암화강석으로 무량사오층석탑이 있다. 1993년 강원도 지역 석조문화재들 조사에 의해서도 석질은 흑운모 화강암이 주류를 이루고 있었다. 崔光南編著, 『文化財의 科學的 保存』, 대원사, 1994.64~65쪽 및 李常憲 『石造文化財 保存에 관한 地質學的 研究』, 이상헌문화재연구소, 1993. 35쪽 참조
- 5) 자연 암반 위에 탑을 직접 세운 것은 全南 靈岩 月出山 龍岩寺地 三層石塔 및 慶州 南山 茸長寺谷 三層石塔 山淸 法界寺 三層石塔 등이 있다.

탑에서 흔히 볼 수 있듯이 한 두 개의 석재를 상징적으로 간략히 설치한 것 등이 있다.

이 부재들은 대개 탑신 중앙에 설치된 찰주에 꽂혀져 있는데 철6)로 만들어졌기 때문에 표피가 일정한 두께로 산화 박락되어 내구력이 감소, 상륜석재의 무게를 지탱하지 못하고 전남 광주(光州) 동오동(東五洞) 오층석탑(五層石塔)과 같이 기울거나 나원리(羅原里) 탑(塔)(사진1)과 같이 부러진 경우도 적지 않다. 감은사지(感恩寺址) 탑(塔)이나 나원리(羅原里) 탑(塔)과 같이 규모가 큰 상륜부는 유실되기 쉬우나 남원(南原) 실상사(實相寺) 백장암(白丈庵) 삼층석탑(三層石塔)(사진2)과 같은 소규모 탑에서는 상륜부 전체가 잘 남아있다.

전북(全北) 고창(高敞) 선운사(善雲寺) 칠층석탑(七層石塔)의 상륜 석재들은 찰주와 함께 기울어져 찰주가 심어져 있는 상륜 밑의 탑신과 옥개석이 종방향으로 갈라져 있고(사진3) 밀양(密陽) 표충사(表忠寺) 삼층석탑(三層石塔)과 전북 군산(群山) 발산리(鉢山里) 오층석탑(五層石塔) 상륜 부재들은 찰주 구멍을 중심으로 균열, 탈락될 우려가 있어 접착보수 하였다. 이러한 현상들은 상륜 부재들을 찰주에 설치할 때 석재들이 아래로 흘러내리지 않도록 고정하였으나 오랜 기간의 풍화로 석재 내구력은 저하되고 지반으로부터 전달되는 진동이나 지속적인 풍압 등으로 상륜이 기울거나 탈락된 것임을 알 수 있다. 감은사지(感恩寺址)탑(塔)은 찰주가 기울어 노반 하단의 굽받침 네 귀가 균열되었고 나원리탑 노반은 찰주 구멍 중심으로 갈라져 있듯이 노반을 포함하여 찰주가 심어져 있는 옥개석도 균열되거나 원 위치에서 이탈되었다.

찰주는 탑의 높은 정상에 자리잡고 있기 때문에 낙전(落電)의 피해를 받아 손상되는 경우도 있다. 1713년 강원도 정선(淨善) 수마노탑(水瑪瑙塔)은 낙뢰의 피해로 탑이 무너지면서 찰주가 뽑히었고 봉인된 사리(舍利)는 밖으로 흩어져 탑을 다시 복원한 사실7)이 있으며 찰주가 부러져 상륜부가 유실된 경주 나원리 오층석탑도 낙뢰(落雷)로 파손되었다고 현지 주민들에게 전하고 있다.

[옥개석(屋蓋石)]

탑의 옥개석은 건물 지붕과 같이 우로(雨露)를 직접 받게 되므로 상부 표면은 탑신에 비해 보편적으로 풍화작용이 심하다. 그 중에서도 감은사지 탑 옥개석은 풍화가 매우 크게 진행되었는데 석재 표면에는 각종의 소태(蘇苔) 지의류8)가 밀집하여 서식하고 있었으며 약 5mm 두께로 석재 표면이 박리 되거나 석재 입자는 상호 결속력을 잃고 모래와 같이 분상박락 되었다. 이미 박리된 표면이 풍화과정을 계속 겪고 있었고 두께가 얇은 옥개석 가장자리는 절리를 따라서 균열, 마멸되었으며 빗물이 고여 있을 수 있는 둥근 구멍9)이 있었다.

6) 경주 감은사지 동탑의 찰주는 주물로 제작한 것으로 길이 5.3m 지름 4~16cm 이며 나원리탑의 찰주 역시 주물 제작되어 하단은 오층 옥개석에 고정되어 있고 상부는 노반 위 7.5cm 돌출 되어 절단되었다. 절단된 단면의 지름은 11cm이다.

7) 「太白山淨岩寺」, 水瑪瑙塔重修史蹟, 정암사, 1995. 60~63쪽 참조

8) 지의류의 여러 종류에서 일부는 일종의 酸 등의 화학물질을 분비하여 석질을 풍화시키거나 뿌리를 내리는 등의 피해가 있다고 한다. R.V.Sneyers and P.J. de Henau, The conservation of stone, 1968. UNESCO 및 中國文化保護技術協會編, 『西州地域文物保護技術討論會論文集』, 文物出版社, 1989. 136쪽. 崔光南編著, 『文化財의 科學的 保存』, 대원사, 1994. 68~70쪽 참조

다른 표면보다 석재의 절리나 미세한 균열 부위에 풍화가 집중, 깊게 침식되는 현상은 석탑에서 흔히 발견할 수 있는 현상이다. 이것은 석질이 약한 곳이나 균열에 탑의 부로부터 모세관현상으로 물기가 유입되어 또다른 손상원인이 되기 때문인 것으로 추정된다.¹⁰⁾

감은사지(感恩寺址) 탑(塔)¹¹⁾ 옥개석은 별석 4매로 이루어져 옥개석들을 무쇠 은장으로 연결하였는데 은장이 부식 파손되어 석재가 이완되었다. 석재가 서로 맞닿은 부위는 정교하게 가공되지 않아 간격이 일정하지 않았고 이 부분은 빗물이 스며들지 못하도록 종방향으로 금속판(金屬板)을 덮었던 홈이 남아 있다. 그러나 석재가 이완된 틈이나 적십이 채워진 찰주 주위 중심부에는 빗물이 침투할 수 있어서 삼층탑신 사리공(舍利空)에서 발견된 사리함(舍利函)(사진4)은 찰주와 젖은 흙으로 손상되었다.

옥개석의 큰 파손은 주로 별석이 서로 마주 닿은 부위의 처마 끝에서 발생하였다. 3층 옥개석 남측 중앙 가장자리 면이 깨어져 있는 것은 풍화된 석재에 강한 물리적 충격이 가해져 발생한 것으로 추정된다. 조사된 50여기의 탑 옥개석은 대부분 한 두군데 이상 파손되었는데 주로 옥개석 귀와 가장자리였으며 간혹 옥개석 전체를 가로지르는 균열도 있었다.

옥개석 귀나 변이 훼손된 것은(사진5) 외부로부터 물리적인 충격이 가해져서 파손된 것으로 보이며 간혹 퇴락된 상륜부재가 찰주로부터 낙하되어 탈락, 옥개석에 가해진 충격과 탑의 붕괴 방치, 또는 인위적인 훼손 등에 의한 파손으로 추정된다.

인위적인 파손 이외에 옥개석을 가로지르는 균열(龜裂), 절단현상(切斷現狀)은 장흥(長興) 보림사(寶林寺) 삼층석탑(三層石塔), 광양(光陽) 성황리 삼층석탑 등에서 발견되었는데 이것은 하층을 더 많이 받게되는 기단 갑석 등 수평부재에서 많이 발생되고 있으므로 상부로부터의 탑 자중(自重)에 의한 자연적인 발생일 것이다.

나원리탑 옥개석과 옥개받침이 가장자리 변이 하중(荷重)으로 압축(壓縮), 전단파괴(剪斷破壞)되지 않도록 하였다. 이러한 가공수법은 수평방향의 석재들이 시각적(視覺的)으로 치져 보이거나 무거운 중량감(重量感)으로부터 벗어나 경쾌하고 미려한 탑으로 조성하려고 한 당시 선인(先人)들의 뛰어난 조형예술(造形藝術)을 알 수 있게 한다.

옥개 받침석은 나원리탑과 같이 상층을 1매로 구성하여 탑신위에 안정된 자세로 놓기도 하지만 감은사지 탑과 같이 4매의 별석(別石)으로 가공하여 각각 부재들을 무쇠 은장¹²⁾으로 연결하기도 한다. 은장들은 녹슬고 철물이 설치된 부위의 석재 면들도 풍화됨에 부재들이 20mm 정도의 간격으로 이완, 불안정한 구조를 지니고 있었다. 4매의 별석들은 찰주와 사리장엄구를 설치하기 위하여 많은 부분을 절석(切石)했기 때문에 탑신

9) 감은사지 동탑 하단, 기단 갑석 상면에는 지름이 7cm내외의 둥근 홈이 매우 많다. 이것은 자연 풍화된 흙을 石片으로 갈아서 커진 인위적인 홈으로 생각한다.

10) R.V.Sneyers and P.J. de Henau, The conservation of stone, UNESCO. 1968. 214쪽 참조

11) 감은사지와 나원리 탑의 석질을 현미경 관찰한 결과 감은사지 탑은 흑운모를 함유, 석영이 풍부한 화강암이며 나원리 석탑은 감은사지 탑에 비하여 석영이 매우 적은 알칼리 화강암이다. 李尙憲, 「感恩寺址 3層石塔(동탑)과 羅原里 5層石塔의 巖石과 風化現象의 特徵에 대한 研究」, 『보존과학학회지』 5권1호, 한국문화재보존과학회, 1966. 25쪽 참조

12) 감은사지 동탑에는 축조 당시 석재들을 연결하기 위하여 82개의 무쇠 은장(나비장)을 사용하였다. 옥개석에 사용된 은장들은 남아 있었으나 기단부는 대부분 유실되었다. 나원리 오층탑과 인근의 무장사지 삼층석탑에도 기단 갑석, 면석에는 무쇠 은장을 사용하였다.

에 없혀지는 부분보다는 외부로 돌출된 부분이 길어 밖으로 전도되기 쉬운 구조였으며 연결 철물이 훼손될 경우 자연붕괴의 큰 원인이 되고 있었다.

감은사지 동탑의 옥개석은 4매의 받침석이 받치고 있는데 풍화 손상이 큰 곳은 네 귀퉁이와 석재가 서로 마주 닿는 하단의 층급으로서 분상박락 내지 박리현상이 집중적으로 발생하였다. 석재가 마주 닿는 이곳에는 오랫동안 빗물이 흐르는 자국과 검은 불순물이 표면을 덮고 있어 빗물로 인한 풍화(風化) 퇴락(頽落) 및 동파(凍破)가 심한 것을 알 수 있었다. 탑 표면의 검은 변색퇴락현상(變色頽落現狀)은 서울 도심(都心)에 위치한 경천사 탑, 원각사지 탑¹³⁾이 더욱 심하나 도심의 공해보다 해변의 염분이 포함된 바람과 빗물 등의 영향이 클 것으로 생각한다.

옥개 받침석과 탑신석 표면에 회(灰)를 바른 흔적은 경북 안동 영양지역의 모리석탑(模里石塔)에서도 볼 수 있었다. 예전에는 신앙대상 및 의장적(意匠的)인 의미에서 석탑 표면에 회를 바르고 도채(圖彩)하였을 것으로 추정되는데 이러한 미장처리는 석탑내부로 침투하는 빗물을 방지할 수 있어 석탑 보호에 중요한 역할을 하였을 것이다.

[탑신부(塔身部)]

감은사지 탑 등의 옥개석 밀면과 탑신석 표면에는 옥개석이 맞닿은 사이로부터 흘러 내린 빗물자국이 있고 이 부분을 중심으로 석재의 박리와 분상박락이 크게 진행(사진6)되었다. 또한 석질의 풍화¹⁴⁾로 내구력이 약화되자 상부 하중에 의한 압축파괴가 옥개받침석과 닿은 2,3층의 우주(隅柱)(사진7)에서 발생하였고 탑신 상 하면에도 집중 발생하였다. 이 현상은 각 층의 탑신(塔身)과 우주(隅柱)에서 공통적으로 나타나 있다.

감은사지 동탑과 탑의 탑신 가공법은 옥개부와 유사하다. 이 가공은 눈으로 식별하기는 어렵지만 정밀실측으로 밀면과 상부면 바닥은 석재 중심을 향하여 내곡(內曲)되어 있고 사방(四方) 변(邊)은 기둥과 기둥사이 중심을 향하여 내곡되었기 때문에 기둥이 조각된 가장자리가 가장 높았다.

탑재 상·하면 및 사방(四方) 변(邊)의 만곡처리(彎曲處理)는 많은 석재로 조립된 탑을 안정된 구조로 만들고자, 탑재들이 서로 미끄러짐이 없도록 한 역학적인 고려와 무겁게 느껴지는 탑의 외관을 장중하면서도 미려(美麗)하게 처리한 것으로 옥개석 밀면을 받침석과 밀착되지 않도록 한 방법과 더불어 뛰어난 조형 솜씨를 확인 할 수 있다.

[기단부(基壇部)]

감은사지 탑과 나원리 탑 기단은 두 개의 층으로 구성되었는데 그 중에서 외부로 돌출된 많은 갑석(甲石)들이 절단 유실(사진8)되었다. 갑석들에만 집중적으로 발생한 피해

13) 대기 오염이 심한 곳의 대리석이나 석회암은 대기중의 아황산과 반응 용해되어 검은 미립자를 포함한 calaium sulphate 결정을 만들어 표면에 검은 층을 생성한다. 이것의 제거는 간단하지 않지만 석재표면의 기타 불순물은 물 등을 이용한 습식세척 대신 붓을 이용한 건식세척을 권장한다. 李圭植, 韓成熙, 「圓覺寺地十層石塔 汚染物の 有機酸 分析」 『保存科學研究』 16집, 국립문화재연구소, 1995. 132쪽 참조

14) 암석의 풍화는 화학적인 변질, 물리적인 분해 및 생물에 의한 작용 등으로 분류되며 풍화에 영향을 주는 요소로는 구성광물의 종류와 함량, 암석의 조직상태, 화학적 성질 그리고 기후 지형, 노출된 시간 등 외적인 요소들이 있다. 또한 광물들의 화학적 풍화작용은 주로 加水分解, 水化作用 그리고 酸化作用 등에 의하여 이루어 진다. 앞책 崔光南編著 68~69쪽 및 李尙憲저 57쪽 참조

현상이 있는 곳은 역시 탑신 하단 모서리와 변으로서 탑의 단면을 살펴보면 상부 하중이 집중한 결과임을 알 수 있다. 감은사지 탑의 1층 탑신에는 4개의 우주(隅柱)를 네귀에 세우고 그 사이에는 면석(面石)을 설치하였다. 면석의 윗면은 역시 탑 내부 중심을 향하여 낮아지도록 경사지게 가공하였고 네 귀의 기둥들은 사방 모서리 외변(外邊)이 가장 높도록 하였다. 따라서 2,3층의 하중¹⁵⁾은 모두 이 접선(接線)으로 집중되어 상대갑석들이 고정되었고 돌출된 갑석(甲石)들은 이 접선을 중심으로 대부분 전단되었다.

기단 위를 덮었던 상대갑석(上階甲石)의 결손은 오랫동안 빗물을 탑 내부 적심(積心)(사진9)으로 유입하였고 유입된 물은 적심 사이에 채워져 있던 흙을 탑 외부로 유출하였을 것이다. 채워진 흙이 빠져나가면서 적심이 가라앉자 상부 하중은 갑석으로 탑 중심을 향하여 침하, 대부분 전단된 것도 갑석 결손으로 인한 빗물 유입이 퇴락현상의 주 원인이었다고 생각한다. 따라서 이와 같은 손상부위의 수리공사는 결실된 부위를 신재로 정확히 가공하여 보충되도록 하고 침하된 적심구조는 안전한 상태로 회복¹⁶⁾시켜야 할 것이다.

이밖에 하중에 의해서 갑석이 반으로 전단(剪斷)된 예는 구례 화엄사(華嚴寺) 오층석탑(五層石塔), 담양(潭陽) 읍내리(邑內里) 오층석탑(吳層石塔), 구례(求禮) 화엄사(華嚴寺) 사사자석탑(四獅子石塔) 등에서 발견할 수 있다. 특히 화엄사 탑은 비교적 얇은 두께의 갑석 위에 네 마리의 사자와 삼층탑을 설치하여 사자(獅子) 바로 밑이 절단 함몰된 전단파괴(剪斷破壞)(사진10)를 정확히 나타내고 있다. 이와 같이 손상된 탑의 보존을 위해서는 파손된 부재의 접착보강도 필요하지만 구조역학적(構造力學的) 측면에서 부재 파손이 계속되지 않도록 보강하는 방법 연구도 필요할 것이다.

석재가 풍화퇴락되어 있는 만큼 석재의 자연적인 파손은 당연한 것이나 옥개석이나 갑석들의 테두리가 공통적으로 많이 파손된 현상은 폐찰(廢刹)로 방치된 상태에서 구조적으로 약한 부위에 인위적(人爲的)인 충격이 수 없이 반복된 것이 큰 원인이었을 것이다. 일 예로 폐사(廢寺)된 이후 갑석이나 붕괴된 옥개석에 무지한 관광객들이 계속 올라가 하중(荷重)을 가하면 내구력(耐久力)이 약한 석재는 결국 전단 될 것이므로 사지(寺地)의 관리와 유적 보존 인식의 저변 확대가 필요하다.

[기단면석(基壇面石)]

원각사지 탑이나 경천사탑과 같은 대리석탑에는 서로 같은 석질이 밀집되어 매우 얇은 층을 이루는 틈이 많고 이 부분의 풍화 손상은 심하다. 이것은 다른 성분들이 밀집되어 있는 얇은 층들로서 각 층마다 내구력이 서로 다르기 때문이다. 틈 사이로 외부 물기가 쉽게 유입하여 잔류되기 때문인 것으로 추정된다. 이러한 현상은 대리석 탑뿐만 아니라 화강석 탑에서도 나타나고 있다.¹⁷⁾

15) 감은사지 탑의 自重은 1층이 81톤, 2층 41톤, 3층 21톤, 기단 184톤으로 총 327톤이다. 자중에 의한 부재 파괴를 방지하기 위해서는 건축구조적 보강연구가 필요할 것이다.

16) 감은사지 탑과 나원리 탑의 결손된 부재중에서 기단 갑석만은 구조적인 안정을 위하여 결실된 부위를 실측, 신재를 가공하여 꺾쇠와 합성인공수지(아랄다이트)로 접착 수리하였다.

17) 암석은 석영, 사장석, 미사장석, 장석, 흑운모, 각섬석 등으로 구성되었는데 때로는 광물질이 한 방향으로 나타난다. 이것이 지하 상부에서 생성될 때에는 火成線理후기 광역변성을 생성될때에는 片狀線理로 구분한다. 앞책 崔光南編著 및 李尙憲 「원각사지10층석탑의 풍화현상에 대한 지질학적 연구」, 『이것이 탑골탑의 놀라운 조각들』, 궁중유물전

고려시대에 조성된 것으로 추정되는 진도(珍島) 금골산(金骨山) 오층석탑(五層石塔)의 기단 면석은 종방향으로 절리가 있고 이 부분이 크게 풍화되었다. 김제 금산사 심원암 삼층석탑의 탑신(사진11)과 기단면석도 사방향(斜方向)의 절리를 따라서 균열 파손된 양상을 보이고 있다. 절리의 미세한 균열은 습기와 우수가 오래 잔류할 수 있는 구조이기 때문에 자연풍화(自然風化)가 빠르게 진행될 수 있고, 상부 하중이 집중될 경우 다른 부위보다 손괴되기 쉽기 때문에 접착(接着), 방수처리(防水處理) 및 구조적 안정을 위한 보존방법이 필요하다.

기단면석들은 갑석(甲石)까지 내려오는 하중을 지대석으로 전달하면서 탑을 지탱하도록 수직방향에 보통 석관 4개로 조립되며 내부에는 갑석과 흙을 혼축한 적심(積心)이 채워져 있다. 감은사지 탑이나 구례 화엄사 서오층석탑, 해남 대흥사 응진전 앞 삼층석탑 등의 면석은 원 위치에서 밖으로 밀려났거나 전도(顛倒)되어 있다. 면석의 변위는 자연적인 발생도 있지만 경주 나원리 탑과 전남(全南) 영광(靈光) 신천리삼층석탑(新川里三層石塔)의 면석(사진12)이 밖으로 떨어진 것은 석탑 내의 유물도굴을 위하여 기단면석을 조금 열어 놓은 인위적인 훼손으로 생각한다. 면석이 제 위치에서 이탈하여 변위되면 균형을 유지하고 있더라도 편심하중(偏心荷重)을 받게되거나 불안정한 구조가 되므로 원 위치로 바로 세우는 것이 필요하다.

토사(土砂)가 집중호우로 석탑주위에 유입되거나 전답경작(田畝耕作) 등의 인위적인 지반정지 등으로 기단부가 매몰, 석탑이 훼손되는 경우가 있다. 영광(靈光) 신천리(新川里) 삼층석탑(三層石塔) 및 담양 언곡사지(彦谷寺地) 삼층석탑(三層石塔), 보성(寶城) 봉천리(鳳川里) 오층석탑(五層石塔)은 1층 기단이 지표 아래로 매몰되었다. 지표면 이하에 매몰된 경우는 토압으로 석탑이 붕괴되기 쉽고 다습한 흙으로부터 염류(鹽類) 등이 유입되어 석질의 풍화를 촉진¹⁸⁾ 할 것이다.

[지대석(地帶石)]

지대석들은 기단면석(基壇面石)과 일체로 가공하였거나 여러 개의 석재를 가공하여 조립한 경우가 있다. 이 지대석에는 탑 전체 하중의 많은 양이 전달되고 지면에 있는 만큼 훼손되기 쉽다. 해남(海南) 대흥사(大興寺) 응진전(應眞殿) 앞 삼층석탑 지대석은 제자리에서 이탈·이완되었고 순천 금둔사지(金屯寺地) 삼층석탑(三層石塔)은 지대석(地臺石)이 전단 파손되었다. 이와 같이 장대석(長臺石)으로 조립된 지대석은 주로 전단되며 면석과 일체로 가공된 석재는 하중과 기단 내부 적심침하(積心沈下)로 외압(외압)을 받아 외부로 밀려나거나 전도(顛倒)(사진13)되고 있다.

탑 하부 수평재에 해당하는 지대석이나 기단갑석, 면석 등은 탑 상부의 부재나 수직방향의 부재보다 마멸과 박리, 구멍(사진14) 발생 등 풍화현상이 많다. 이러한 현상은 기단부가 지면으로부터 항상 유입되는 습기의 영향과 인위적인 손상을 받기 쉬운 곳에 있기 때문일 것이다.

시관, 1994

18) R.V.Sneyers and P.J. de Henau, The conservation of stone, 1968. UNESCO. 216쪽 참조

Ⅲ. 석탑(石塔)의 퇴락(頹落) 및 훼손원인(毀損原因)

1. 자연적(自然的)인 원인(原因)

[구조적(構造的)인 측면(側面)]

탑의 퇴락 및 훼손된 현상에서 살펴보았듯이 탑이 지니고 있는 자체의 구조적인 특성에서 부재들의 훼손 원인을 발견할 수 있다. 석탑은 좁은 직사각형의 평면 위에 많은 석재들을 피라미트 형태로 높이 쌓은 조직구조(組織構造)이며 부재들은 하중(荷重)으로 압축력을 받는 수직방향의 부재와 전단력을 주로 받는 수평재로 분류할 수 있다. 수직방향의 부재들은 하중에 의하여 상단과 하단에서 주로 압축파괴(壓縮破壞)되고 있으며 수평방향의 부재들은 전단파괴(剪斷破壞)되었다. 압축파괴는 상층 탑신부터 발생하고 전단파괴는 하중이 누적되는 하부 기단 부에서 많이 발생하였다. 이것은 석탑의 구조적(構造的) 결함(缺陷)에 의한 불가피한 현상이므로 손상된 부재의 보존과 함께 구조보강은 수리공사에서 매우 중요하다.

좁은 직사각형 면적에 집중되는 하중은 오랜 세월동안 기초가 부동침하(浮動沈下)되는 구조적(構造的) 원인(原因)이 되고 있으며 부동침하로 인한 불안정한 구조와 지진 등에 의한 진동은 석질의 풍화나 인위적으로 훼손된 부재들의 이완(弛緩)을 촉진하여 마침내 탑이 붕괴되거나 크게 손상되는 원인이 되었다고 할 수 있다.

[지리(地理) 환경적(環境的) 측면(側面)]

경주의 같은 행정구역 내에 있는 감은사지탑과 나원리탑은 석탑이 위치한 지리환경적 영향을 얼마나 많이 받고 있는지를 알 수 있는 대표적인 것이라고 생각한다. 감은사지는 해변으로부터 약 1km 이내의 거리에 해안이 보이는곳에 있으므로 항상 해풍(海風)의 영향을 직접 받는 위치에 있고 나원리 탑은 해풍의 영향을 직접 받지 않는 경주시 북측 산중에 있다. 두탑의 성질은 경주 일원에 흔히 볼 수 있는 연질의 화강석(花崗石)으로 조성되었고 축조시기는 같다¹⁹⁾ 그러나 해변에 위치한 감은사지 탑은 금회 조사대상에서 석질이 가장 풍화된 탑이었고 나원리 탑의 석질은 비교적 잘 보존된 탑이었다.

일반적인 기후와 환경으로도 대기 중에 포함된 여러 가지 요소들(수분, 기온, 바람, 화학물질 등)은 직접적으로 석재를 손상시킬 뿐만 아니라 여러 가지 간접적인 형태나 부차적인 2차반응으로 석질을 황폐시키게 된다. 석탑의 음지와 양지의 온도차이는 석재의 표피를 벗겨내며 석재의 미세한 공극사이로 유입되는 수분의 동결은 체적 팽창으로 심각한 손상을 야기한다. 또한 대기중에 포함된 각종 화학물질은 수분이나 암석에 내재된 광물질과 반응하며, 특히 수분에 용해된 염분은 석질의 미세한 구멍으로 유입되어 치유하기 어려운 손상요인이 되고 있다.

물은 극히 얇은 막의 중간 형태로 암석 속으로 흡수될 수 있는데 특히 진흙이나 돌비늘, CHLORITES 속으로 흡수되기 쉽다. 암석 내의 미세한 구멍에 흡수된 물은 내부 통로 벽에 얇은 막을 형성하여 붙어 있는 것과 구멍 내의 통로를 채우고 있는 것 그리

19) 고유섭선생께서는 이 탑을 충주 탑정리 칠층석탑과 익산 왕궁리오층석탑 등과 같은 양식으로 분류하고 축조시기는 新羅 神文王代로 추정하였다. 高裕燮, 「韓國塔陵의 研究」, 同和出版社. 1975 106쪽 참조

고 통로와 통로가 만나는 지점에 모여 있는 것 세 종류가 있다(도판1). 극히 얇은 수막(水膜)은 부착력이 매우 강하여 분자구조(分子構造) 변화 외에는 잘 제거되지 않으며 통로에 채워진 물은 오직 다른 모세관현상(毛細管現象)에 의하여 유입된 물의 압력으로만 제거될 수 있다. 대기 중의 수분이 암석 구멍으로 유입, 담겨진 물(自由水)은 미세한 구멍의 수로(水路)를 이용하여 자유롭게 이동되고 제거에도 큰 어려움이 없다.²⁰⁾ 물의 이러한 침투력은 암석 내부에서의 흐름을 가능하게도 하지만 때로는 흐름을 방해하기도 하는데 이것은 압력과 온도의 조절 하에 측정할 수 있다. 모세관현상 역시 측정²¹⁾ 할 수 있으며 이것으로부터 다양한 암석들의 미세한 구멍 크기를 알아내기도 한다.

해변으로부터 불어오는 바람은 미세한 소금분말을 포함하고 있어 석재 표면에는 바람에 실려온 염분이 쌓이고 빗물이나 대기중의 수분에 용해되어 암석의 작은 구멍으로 유입, 석재 내부에서 풍화작용을 유발한다. 또한 모세관현상(毛細管現象)으로 지면(地面)으로부터 유입된 염분 등 화학물질은 석재 내부에 머물다가 외부의 날씨 변화에 따라서 내부 습기는 석재 표면으로 이동하게 되는 경우, 화학물질(化學物質)을 암석 표면과 아래에 축적시키고 증발함에 따라서 백화현상(白花現狀)과 같은 석질의 풍화(風化)를 일으킨다.

이러한 피해현상은 해변에 위치한 문화재나 땅 속에서 출토된 석조유물이 지닌 공통적인 것이다. 동남아시아의 인도(印度) 오리싸주(州) 코나라카에는 해변으로부터 약 1킬로미터 거리에 태양사원(太陽寺院)이 있는데 역시 해풍에 의하여 피해를 입고 있다. 이러한 피해를 줄이고자 인도 주정부(州政府)는 석재 표면의 소금기를 종이펄프로 흡착제거²²⁾하고 5%의 비닐아세테이트를 2회 도포하여 석질을 보호²³⁾하도록 조치하였다. 또한 유적의 기초에 알카리성을 측정할 수 있는 장치를 설치하여 그 변화를 조사하도록 하였다. 해풍의 직접적인 피해를 방지하기 위해서는 수목(樹木) 방풍림(防風林) 조성이나 보호각 설치, 건축벽 설치 등의 차폐 벽이나 스크린이 필요하지만 문화재(文化財)의 시각적(視覺的) 미(美)를 방해할 수 있어 반대 의견이 일부 있는 실정이다.

이러한 지리 환경적 차이는 공해가 많은 서울의 경천사탑이나 원각사지 대리석탑과 공해가 적은 여주(麗州) 신록사(神勒寺) 다층석탑(多層石塔)(대리석) 사이에서도 발견할 수 있다. 서울의 대리석탑은 석질의 용해 박락 등의 풍화가 매우 심하나²⁴⁾, 같은 대리석질의 선록사탑은 석질보존상태가 매우 양호하다.

두 탑이 이렇게 대조적인 퇴락양상을 보이는 것은 바로 해변가에 위치할 때와 해변에서 멀리 떨어진 산중에 위치할 경우, 즉 지리 환경이 서로 다를 때 주위 환경이 문화

20) R.V.Sneyers and P.J. de Henau, The conservation of stone, 1968. UNEESCO. 214~215쪽 참조.

21) 물의 모세관현상으로 지름1mm 공극으로 유입될 경우는 1.5kg/cm² 정도의 압력이 발생한다.

22) 인도 태양사원의 석재표면 소금기 세척을 위해서 두께 12mm 종이 펄프를 사용하여, 1,000cm² 면적당 염화나트륨이 추출된 양은 1회에는 0.709g, 2회차 0.528g, 3회차 0.2g, 4회차 0.2g이었다. T.R. Gairola, Examples of the preservation of monuments in India, UNESCO, 1979. 139~141쪽 참조

23) 국제문화재보존센터(ICCRROM)의 토라카교수는 비닐 및 아크릴계 합성수지를 매우 묽게 희석하여 석재 면에 도포하되 10~15년을 주기로 해야 효과가 있다고 한다.

24) 대기에 포함된 여러 가지 화학물질 중에서 이산화탄소가 물(빗물 등)과 반응할 때 대리석에 포함된 방해석이 용해되어 석탑이 퇴락 된다. 「圓覺寺地十層石塔 實測調査報告書」, 문화재관리국, 1993. 213~225쪽 참조

재에 얼마나 큰 영향을 주고 있는지를 잘 나타내는 것이라고 생각한다.

구례 화엄사(華嚴寺) 서오층석탑(西五層石塔)의 북측 기단 하부와 옥개석 상면에는 다른 곳 보다 지의류(地衣類)가 밀식되어 있으며 같은 경내 원통전(圓通殿) 사자탑(獅子塔), 사자삼층석탑(獅子三層石塔)에도 많은 지의류가 서식하고 있는 화엄사의 다습한 지리 환경적 특성 때문이라고 생각한다. 이밖에도 지의류가 밀식되어 있는 곳은 해남(海南) 대흥사(大興寺) 북미륵암(北彌勒庵) 삼층석탑(三層石塔)과 남원(南原) 실상사(實像寺) 백장암(白丈庵) 삼층석탑(三層石塔), 김제(金堤) 금산사(金山寺) 심원암(深源庵) 삼층석탑(三層石塔)이 있다. 이 탑들은 깊은 산 속에 있고 탑 주위에 수목이 우거져 음지를 조성하거나 바다가 인접한 지역으로서 항상 다습한 환경조건을 유지할 수 있는 곳이다.

탑이 위치한 환경이 서로 다른 것 이외에, 탑 부위별 높이에 따라서도 퇴락 양상은 다르게 나타나고 있다. 탑의 하부는 지면으로부터 멀리 떨어진 상부보다 모세관(毛細管) 현상(現狀)으로 지면으로부터 물기가 지속적으로 유입되고 지의류 및 미생물의 번식을 가능하게 하므로 다른 부위보다 과다한 하중과 풍화로 더욱 쉽게 손상될 수 있다. 이외에도 석탑의 균열부에 자생하는 식물들의 뿌리나 모래와 먼지 섞인 바람에 의한 마모, 새나 동물의 배설물, 빗물에 의해 용해되는 석질 성분의 배출등이 있으며 이 요인들은 탑이 위치한 곳의 환경적 영향을 받으면서 단독으로 또는 서로 다른 요인들이 합성되어 석탑의 구조를 퇴락 시킨다고 할 수 있다.

이상과 같이 자연적(自然的) 퇴락(頽落)의 근원이 되는 것을 정리하면 다음과 같다.

*기온(氣溫) : 낮과 밤의 기온 차이나 햇빛 조사(照査)와 날씨 등에 의한 기온변화는 석재 표면에서는 물론 표면 아래에서 서로 다른 열팽창수축(熱膨脹收縮)에 의하여 석질의 박리나 분상박락을 촉진한다.

*염분(鹽分)의 용해(溶解)와 결정(結晶):물에 용해된 염분은 간혹 석재 내부의 미세한 구멍 속에서 결정체(石膏等)를 만들어 메움으로서 약 1,100기압의 압력²⁵⁾을 발생시킨다. 특히 흙 속에서 출토된 유물은 이 퇴락현상으로 많은 문제를 야기하는 만큼 흙에 인접한 석탑의 기초 기단부위의 보존방안 연구가 필요하다.

*수분(水分)의 동결(凍結) 및 수화작용(水化作用):석조물 내에 유입된 물이 동결되면 부피가 약 9%증가하므로 썩기작용(frost wedging)으로 균열 부위 등이 파손되며 수화작용으로 석질이 풍화된다. 암석내에 포함된 철분(鐵分)과 같은 광물질(鑛物質)은 일반적으로 산화(酸化)되기 쉬운데 만약 산화되면 조직의 결합 고리를 약화시키므로 석질 강도가 저하되어 균열, 분상박락된다.

*생물학적(生物學的) 요인(要因) : 식물의 뿌리, 지의류, 조류(藻類), 박테리아 등이 분비하는 산류(酸類)에 의하여 암석이 자연(自然) 부식(腐植)된다.

*대기(大氣)의 오염(汚染) · 일반적으로 공단(工團)으로부터 멀리 떨어진 곳의 공기에

25) 앞책 Conservation of stone 216쪽

는 질소 78% 산소 21% 기타 가스 0.96% CARBONIC ANHYDRODE 0.03%, 소량의 오존, 석탄연소물, 먼지, 유황²⁶⁾ 등이 있어 화학분석으로는 매우 적은 영향을 줄 수 있는 양이지만 석조물에 오랫동안 작용하는 결과는 매우 심각할 수 있다. 일 예로 3,500여 년전의 이집트 클레오파트라 석탑 2기 중 하나는 런던으로 하나는 뉴욕으로 1880년 옮겨졌으나 1년 후부터 탑에 조각된 명문이 풍화 손상되기 시작했다. 특히 뉴욕의 것은 흑한기의 동파와 공해로 극심한 퇴락이 진행되었다. 이 짧은 기간의 풍화는 과거 3,400년간 진행된 풍화보다 더 큰 것으로 공해는 매우 심각한 문제로 대두되고 있다.

2. 인위적(人爲的)인 원인(原因)

석탑이 인위적으로 훼손되는 원인은 전쟁, 무지, 문화파괴 행동, 종교 및 관습상 편견, 도굴 등이 예상²⁷⁾된다. 일제 강점기 전후로는 석탑 내의 유물을 도굴하려고 탑신이나 옥개석을 들어올리거나 탑신의 면석을 벌려 놓아 탑을 불안정한 구조로 만들어 붕괴, 파손시키는 일이 많았다. 또한 열악한 보수방법이나 과거의 잘못된 수리로 석탑이나 석재가 손상될 수 있으며 무분별한 관광객들에 의해서도 석탑이 훼손될 수 있다.

IV 석탑(石塔)의 보존(保存) 및 수리방향(修理方向)

1. 색인(索引) 기록카드(記錄)의 작성(作成)

석탑의 과학적인 보존을 위해서는 궁극적으로 각 석탑의 신상명세(身上明細)와 신체검사(身體檢査)의 색인 기록카드 작성이 우선되어야 하며 정기적인 조사사항은 계속 역사적인 자료로 축적(蓄積) 영구보관(永久保管)되어야 한다. 이것은 중앙행정기관(中央行政機關)과 지역행정청(地域行政廳)의 협력 하에 다음 사항을 연차적으로 준비 축적(蓄積) 관리(管理)²⁸⁾하는 것이 매우 중요하다.

- (1) 석탑마다 개별적으로 관련된 연혁, 수리 등의 역사적 사실들을 기록한다.
- (2) 지역환경 및 보존상태를 분석할 수 있는 세부 조사기록, 사진철 작성 보존
- (3) 조사(調査):석탑을 구상하고 있는 석질의 성격을 육안검사(肉眼檢査) 보다도 현미경 등을 이용하여 다음과 같은 측면에서 더욱 상세하게 조사하여야 최선의 보존방법을 정확히 제안할 수 있다.

*간역조사(簡易調査):육안검사(肉眼檢査)나 확대경 등을 이용하여 석질의 질감, 색상, 광택, 변이상태, 부서지는 양상을 조사하여 기록하여 둔다.

*물리적(物理的) 실험(實驗):압축강도, 전단강도, 등의 실험으로 석재의 강도와 결합력, 밀도, 다공성, 온도 및 충격에 대한 내구력을 규명한다.

*화학적(化學的) 반응실험(反應實驗):물에 대한 내구성과 차갑거나 뜨거운 산성 액에

26) 앞책, 217쪽 참조

27) 尹張燮, 「건축물 有形文化財 保存에 관하여」, 『문화재』, 제 18호, 문화재관리국, 1985. 20쪽 및 崔德卿 「文化財保護와 對策에 관한 고찰」, 『문화재』, 제 26호, 문화재관리국, 1993. 305쪽

28) 拙稿, 「文化財의 管理 및 補修理論」, 『文化財管理者教育教材』, 문화재관리국, 1996, 63~67쪽

대한 내구성을 용액상태의 미량금속 실험방법으로 실험한다.

*화학분석(化學分析): 암석 전체 또는 일정 부위별의 성분을 분석한다.

*현경(顯微鏡) 조사(調査): 암석 샘플로 단면상 보이는 광물의 성격과 분말 샘플을 이용한 조사를 한다.

*특수한 조사방법: X-ray 등에 의한 사진촬영 등

(4) 변위 측정장치 및 관련 기록사진촬영, 지질 및 지반상태 조사, 관련 지도(地圖) 작성.

(5) 경화처리를 위한 기본 장비의 준비와 주기적인 처리계획 수립

(6) 수리내용을 기록하되 처리목적과 시기, 처리의 원칙, 방법, 사용된 재료의 상품명, 제조일자, 특수 처리된 내용이나 보강재로 사용된 재료, 시설물 내용, 시공 및 감독자, 처리결과의 기록 등이 포함되어야 한다.

(7) 인위적 및 자연적 손상요인의 규명 및 예방안을 수립.

(8) 돌발적인 상황에 대비한 수리계획

2. 보수공사(補修工事) 방향(方向)

(1) 실태(實態) 및 지침조사(指針調査)로 작성된 기록자료, 사진자료들과 앞서 기술한 조사 실측 분석자료들은 매년 석탑 개별로 작성된 색인카드로 집성, 영구 보관되어야 하며 이것을 위해서는 연차적인 사업추진과 자료관리(資料管理) 전담원(全擔員) 구성 등이 필요하다.

(2) 문화재실측설계도(文化財實測設計圖)는 주변환경 및 구조상태, 퇴락부위, 원인 등을 정확히 조사하여 구체적인 수리보존안을 제안하는 수준으로 작성되어야 한다.

(3) 석탑보수(石塔補修)는 원형변질의 가능성이 많은 보존방법의 마지막 수단인 만큼 수리 이전에 현존 상태에 대한 정밀 실측조사²⁹⁾로 손상된 부위, 구조적 결함, 구조 양식상의 특성, 과거 수리방법의 규명 등에 역점을 두어야 하고 수리 기간에는 가능한 원재질이 모두 보존되도록 최선의 방법을 강구하도록 한다.

(4) 취약한 부재들을 교체하는 대신 물리 화학적인 처리나 보강방안을 연구하여 원래의 부재가 보존되도록³⁰⁾ 한다.

(5) 부재의 파손이나 멸실로 취약한 곳은 접착 또는 경화처리로 보강하고 구조적인 결함이 있는 유실된 부분은 신재를 보충하여 보강한다. 은장과 같은 퇴락 유실된 연결철물(鐵物)은 복원 설치하여 구조를 보강하고, 침하된 적심과 기초는 건전한 구조로 회복시키되 가능한 지하 유구는 보존되도록 한다.

(6) 석탑 수리 못지 않게 주위의 환경조사와 피해원인 제거 및 개선에 두도록 한다.

(7) 정기적인 세척계획(洗滌計劃)을 수립하여 석질(石質)에 피해(被害)가 없는 물리

29) Bernard M. Feilden, 「The work of the conservation architect」, 『Conservation of Historic Buildings』, Butterworth, 1982

30) 拙稿, 「益山彌勒寺地 東塔復原에 관한 소고」, 『建築歷史學會』, 1992. 425~426쪽

(物理) 화학적(化學的)인 방법과 재료로 시행하여 염분(鹽分) 등의 불순물과 지의류 등을 제거³¹⁾한다.

V. 결 론(結論)

이상으로 지역적으로 제한된 수량이지만 전남(全南) 북(北) 일원의 50여기와 경주 감은사지 및 나원리 탑 등을 중심으로 구조적인 퇴락현상, 그 원인들을 살펴보았다. 퇴락 손상된 석탑의 보존을 위해서는 우선 그 주위 환경으로부터 피해 요인을 차단 또는 감소하는 방법으로서 보호각(保護閣) 설치, 수벽(樹壁)과 같은 인공차단막(人工遮斷膜) 설치, 다습한 환경(環境)의 개선(改善) 등이 필요하고 석탑 자체로는 정기적인 세척(洗滌), 석재 표면 보호조치 및 경화(硬化) 접착처리(接着處理), 건축(建築), 구조적(構造的) 보강(補強) 등이 고품질(高品質) 수준(水準)의 과학적(科學的)인 방법으로 연구되어야 할 것이다. 또한 이러한 보존방법을 수준 높게 실행하기 위해서는 매년 시행하는 여러 가지 기초조사 행정자료와 전문분야 별 분석자료들이 집성 활용되어야 한다. 이 자료는 석탑 개별마다 색인카드로 작성 전산관리(電算管理) 되어야 하며 이 작업은 중앙행정기관(中央行政機關)과 지역(地域) 행정청(行政廳) 간의 협조로 역사적인 영구 축적 자료가 되도록 하되 기록자료 관리의 전담부서(專擔部署)가 설치 운영되어야 할 것이다.

31) 지의류의 방제방법은 최광남편지 앞책 72~74쪽을 참조

參 考 文 獻

1. 高裕燮, 「韓國塔婆의 研究」, 동화출판사, 1975
2. 金思憲, 李尙憲, 「大理石 石塔 및 石塔과 類似材質에 대한 연구」, 『保存科學研究』 16집, 국립문화재연구소, 1995
3. 朴耕立, 李尙憲, 辛鐘遠, 「保存을 위한 石造文化財의 특징과 岩石에 대한 연구(I)」, 『보존과학회지』 5권 1호, 한국문화재보존과학회, 1996
4. 白燦圭, 「문화재관리 및 보수이론」, 『문화재관리자교육교재』, 문화재관리국, 1996
5. 白燦圭, 「益山彌勒寺地 東塔復原에 관한 소고」, 『建築歷史學會』, 1992
6. 李相海, 「建築歷史文化環境의 保全과 復原의 課題」 『문화재』 26호, 문화재관리국, 1993
7. 李尙憲, 「石塔文化財 保存에 관한 地質學의 研究」, 〈강릉시 명주군 양양군 속초시 소재 석조 문화재를 중심으로〉, 이상헌문화재연구소, 1993
8. 李尙憲, 「感恩寺址 3層石塔(동탑)과 羅原里 5層石塔의 岩石과 風化現狀의 特徵에 대한 研究」, 『보존과학회지』 5권 1호, 한국문화재연구소, 1993
9. 尹張燮, 「건축물 有形文化財 保存에 관하여」, 『문화재』, 제 18호 문화재관리국, 1985
10. 李圭植, 韓成熙, 「圓覺寺地十層石塔 汚染物의 有機酸 分析」 『保存科學研究』 16집, 국립문화재연구소, 1995
11. 張憲德, 「감은사지 동탑의 평면과 입면비례에 관한 고찰」 『문화재』 제 25호, 1994
12. 崔德卿, 「文化財의 保護와 對策에 대한 考察;韓國과 中國의 古建築物은 保護事例를 중심으로」, 『문화재』 26호, 문화재관리국, 1993
13. 崔光南編著, 「文化財의 科學的 保存」, 대원사, 1994
14. 「金谷寺三層石塔. 洪城東門洞 幢竿支柱修理報告書」, 문화재관리국, 1989
15. 「圓覺寺地十層石塔 保存對策 關한 調查研究」, 서울특별시, 1975
16. 「圓覺寺地十層石塔 實測調查報告書」, 문화재관리국, 1993
17. 「太白山淨岩寺」, 水瑪瑙塔重修史蹟, 정암사, 1995
18. 「文化財補修技術者敎材」, 문화재관리국, 1984
19. Baek. Chanku, 「Examples of the Conservation of the Marble Pagoda」, 『Fifth seminar on the conservation of asain cultural heritage』, Nara, 1995
20. Bernard M.Feilden, 「The work of the conservation architect」, 『Conservation of Historic Buildings』, Butterworth, 1982
21. R.V.Sneyers and P.J. de Henau, 「The conservation of stone」, UNESCO. 1968

담부재별 훼손현황

멸 실	×	균 열	C	침 하	D
일부파손	F	이 완	L	양 호	O

순 서	소재지 (도·군)	문 화 재 명	지정별	훼손현황 (멸실·파손·균열풍화·이완)				비 고
				상륜부	옥개석	탑신석	기단부	
1	光州 南區	光州 西五層石塔	寶物 109	×	F	F	F	
2	東區	光州 東五層石塔	寶物 110	×	F	C	F	
3	江原 旌善	水瑪瑙塔	寶物 410	신	L	L	C.D	95해체보수
4	全北金堤市	金山寺六角多層石塔	寶物 27	×	F	×	O	"
5	"	金山寺 深源岩三層石塔	寶物 29	×	O	C	L.D	96보수
6	"	金山寺五層石塔	寶物 25	O	O	O	O	
7	井邑市	井邑隱仙里三層石塔	寶物 167	O	O	O	O	
8	"	泉谷寺地七層石塔	寶物 309	×	O	L	O	
9	群山市	鉢山里五層石塔	寶物 276	C	F	F	C.F	
10	南原市	龍潭寺七層石塔	地有 11	×	O	F	O	
11	"	萬福寺地五層石塔	寶物 30	×	F	O	F	기보수
12	"	實相寺百丈庵三層石塔	國寶 10	O	F	F	F	"
13	"	實相寺東三層石塔	寶物 37	O	F	O	D.L	96보수
14	"	實相寺西三層石塔	寶物 37	O	C	O	L	"
15	高敞	禪雲寺七層石塔	寶物1,200	O	C	O	O	
16	全南 求禮	華嚴寺四獅子三層石塔	國寶 35	O	O	O	C.D	
17	"	華嚴寺東五層石塔	寶物 132	O	F	O	F.L.D	
18	"	華嚴寺西五層石塔	寶物 133	O	F	O	F.L.D	95해체보수
19	"	華嚴寺圓通殿 앞獅子石塔	寶物 133			O	F.L	
20	"	薦谷寺三層石塔	寶物 151	×	F	O	F	
21	"	求禮論谷里三層石塔	寶物 509	×	O	F	F.L.D	
22	長興	寶林寺東五層石塔	國寶 44	O	F	C.F	F	96보수
23	"	寶林寺西三層石塔	國寶 44	O	F	C.F	F	"
24	"	天冠寺三層石塔	寶物 795	×	O	O	F.L.D	

순 서	소재지 (도·군)	문 화 재 명	지정별	훼손현황 (멸실·파손·균열풍화·이완)				비 고
				상륜부	옥개석	탑신석	기단부	
5	全南羅州市	羅州北門外三層石塔	寶物 50	×	F	F	F	
6	光陽	中興山城內三層石塔	寶物 112	×	F	O	O	
7	海南	大興寺應診殿三層石塔	寶物 320	O	F	F	LD	
8	"	大興寺北彌勒庵三層石塔	寶物 301	×	F	K	F.L	
29	順天市	禪庵寺東三層石塔	寶物 395	×	F	O	F	
30	"	禪庵寺西三層石塔	寶物 395	×	F	O	F	
31	"	桐華寺三層石塔	寶物 831	O	O	O	C	
32	"	金苞寺地三層石塔	寶物 945	×	F	F	F.L.D	
33	"	彦谷寺地三層石塔	文資 20	×	O	F	F.×	95이전복원
34	"	潭陽邑內里五層石塔	寶物 506	×	C	F	F	
35	靈光	靈光新川里三層石塔	寶物 504	O	O	O	L	95해체보수
36	珍島	金骨山五層石塔	寶物 529	O	O	C	O	
37	和順	雲住寺九層石塔	寶物 529	O	O	O	O	
38	"	金谷寺三層石塔	寶物 798		C	C.L	F	96보수
39	康津	金谷寺三層石塔	寶物 829	O	F	F	F	88해체보수
40	"	月南寺地模鰲石塔	寶物 298	×	F	O	C.L.D	
41	寶城	寶城牛川里三層石塔	寶物 943	×	F.C	O	L	
42	"	寶城鳳川里五層石塔	寶物1115	×	O	O	F	
43	靈岩	聖風寺地吳層石塔	寶物1118	×	F	O	C.L	
44	"	龍岩寺地三層石塔	비지정	×	F	O	LD	95복원
45	慶北慶州市	鑿藏寺地三層石塔	寶物 126	×	F	F	L	96해체보수
46	"	羅原里五層石塔	國寶 39	×	C	O	F	"
47	"	感恩寺址東三層石塔	國寶 112	×	F	F	C.L	"
48	"	感恩寺址西三層石塔	國寶 112	×	F	F	LD	
49	金泉市	靑巖寺修道庵東三層石塔	寶物 297	×	O	F	F.L.D	96해체보수
50	"	靑巖寺修道庵西三層石塔	寶物 297	×	C	O	F.L.D	"
51	慶南密陽市	表忠寺三層石塔	寶物 467	F	O	O	LD	95해체보수



사진 1. 찰주 및 노반의 전단파손(羅原里五層石塔)

사진 1. 찰주 및 노반의 전단파손(나원리오층석탑)



사진 2. 남원 실상사 백장암삼층석탑



사진 3. 상륜이 기울고 옥개석은 균열(고창 선운사칠층석탑)



사진 4. 감은사지 동탑에서 발견된 사리암



사진 5. 옥개석의 균열파손(長興 寶林寺東三層石塔)

장흥 보림사 동삼층석탑



사진 6. 落水로 석재표면이 풍화 손상된 상태(感恩寺址 東塔)

감은사지 동탑

감은사지 동탑

사진 6. 落水로 석재표면이 풍화 손상된 상태(감은사지 동탑)



사진 7. 隅柱가 압축파괴된 상태(感恩寺址 東塔)

사진 7. 우주가 압축파괴된 상태(감은사지 동탑)



사진 8. 積心沈下로 기단갑석이 파손유실된 현상(羅原里五層石塔)
의리산사지 羅原里五層石塔

사진 8. 적심침하로 기단갑석이 파손유실된 현상(나원리오층석탑)



사진 9. 탑 내부 積心상태(感恩寺址塔)

사진 9. 탑 내부 적심 상태(감은사지탑)



사진 10. 갑석의 전단파괴 현상(화엄사 사사자석탑)



사진 11. 線理에 의한 손상(金山寺 沈源庵三層石塔)

사진 11. 선리에 의한 손상(금산사 침원암삼층석탑)



사진 12. 面石이 떨어진 상태(榮光 新川里三層石塔)

사진 12. 면석이 떨어진 상태(영광 신천리삼층석탑)



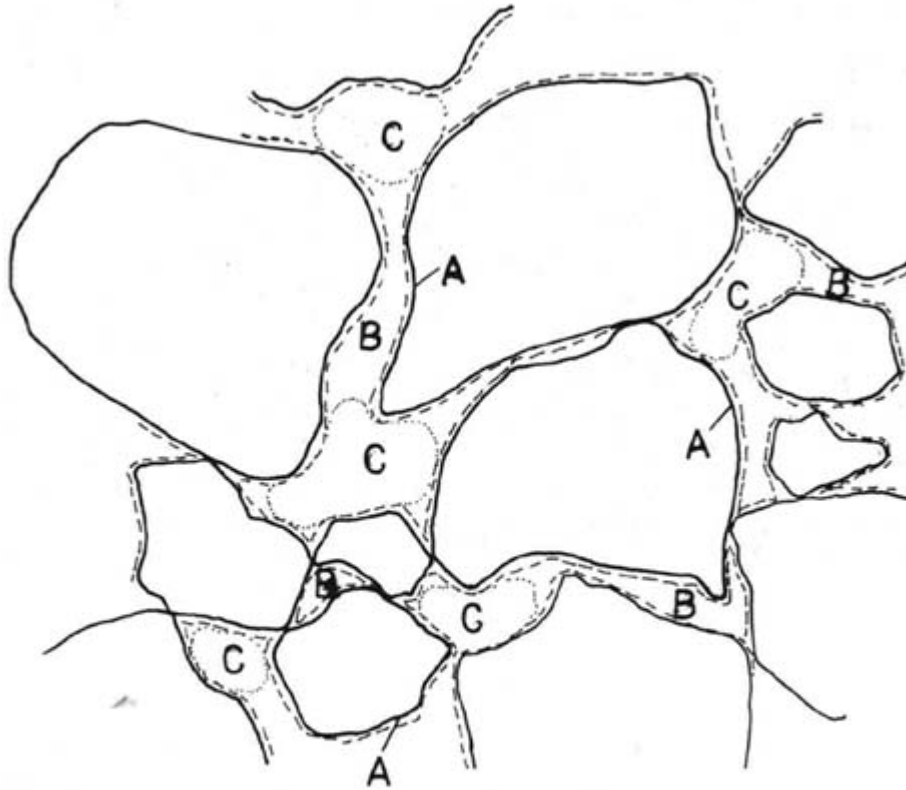
사진 13. 기단부의 弛緩 顛倒現況(華嚴寺 西五層石塔)
 이화 석탑 華嚴寺 西五層石塔

사진 13. 기단부의 이완 점도현황(화엄사 서오층석탑)



사진 14. 甲石에 발생된 구멍(感恩寺址 東塔)
 갑석 感恩寺址 東塔

사진 14. 갑석에 발생된 구멍(감은사지 동탑)



도판 1. 암석 조직 사이의 미세한 구멍에 유입된 물의 상태

A. 암석조직 표면에 부착 되어있는 물

B. 모세관현상으로 유입된 물

C. 구멍으로 자유롭게 이동되는 물

도판1. 암석 조직 사이의 미세한 구멍에 유입된 물의 상태

A. 암석조직 표면에 부착 되어있는 물

B. 모세관현상으로 유입된 물

C. 구멍으로 자유롭게 이동되는 물