

석탑의 석재와 보존에 관한 지질학적 연구
(石塔의 石材와 保存에 關한 地質學的 研究)

李尙憲
(江原大學校 敎授)

1. 서언(序言)

금번에 충남일원(忠南一圓)과 경북궁내(景福宮內)에 위치(位置)하고 있는 석조물(石造物) 문화재(文化財)에 대한 석재(石材)에 대하여 관심을 갖고 사용(使用)된 석재(石材)의 종류(種類)와 보존상태(保存狀態)에 대한 조사(調査)를 하게 되었다. 조사(調査)된 석탑(石塔)들은 백제시대(百濟時代)부터 고려말(高麗末)에 이르는 시기(時期)에 축조된 것으로 이들은 오랜 세월을 지나면서 심한 자연풍화(自然風化)에 의하여 외면(外面)이 많이 손상되어 있었으며 그와 다른 요인(要因)에 의하여 풍화(風化)가 국부적(局部的)으로 더욱 심한 곳이 있었음을 알 수 있었다. 이러한 현상(現象)들과 암석(岩石)의 물리화학적(物理化學的) 성질(性質) 사이의 연관성의 유무(有無)와 자연풍화의(自然風化外)에 국부적(局部的)인 영향을 가한 요인(要因)들에 대하여 지질학적(地質學的)인 면(面)에서 고찰(考察)해 볼 수 있었으며 이 결과(結果) 석탑(石塔)의 장기적(長期的)인 보존(保存)에 관한 기초적인 자료(資料)를 얻을 수 있었다.

충남일원(忠南一圓)에 분포(分布)하는 석탑(石塔)의 경우 아울러 사용(使用)된 석재(石材)의 종류(種類)와 주위 지역의 암석(岩石)의 분포(分布)와의 연관성에 대해서도 관심을 갖게 되었으며 석탑(石塔)의 부위별(部位別)로 사용(使用)된 석재(石材)의 종류(種類)의 다양성(多樣性)에 관하여 의견상(外見上) 및 보존상(保存上)의 관점(觀點)에서 조사(調査)하였다.

2. 충남일원(忠南一圓)의 지질개요(地質概要)

본역(本域)에 분포(分布)하는 암석(岩石)들은 고기(古期)로부터 선(先)캠브리아기(紀)에 속하는 변성암류(變成岩類), 시대미상(時代未詳)의 편암류(片岩類)(소위 옥천계(沃川系)에 속함), 중생대(中生代)의 화강암류(花崗岩類), 섬록암질암(閃綠岩質岩), 퇴적암류(堆積岩類) 및 산성암맥(酸性岩脈)으로 구성(構成)되어 있다.

선(先)캠브리아기(紀)의 변성암류(變成岩類)는 편암류(片岩類), 규암(珪岩) 및 화강암질 편마암(花崗岩質片麻岩)으로 구성되어 있으며 이들은 서부지역(西部地域)에 넓게 분포(分布)하고 있다. 소위 옥천계(沃川系)에 속하는 편암류(片岩類)는 천매암(千枚岩)이나 점판암층(粘板岩層)을 협재(挾在)시키며 주(主)로 논산군(論山郡)의 동남부(東南部)에

분포(分布)한다.

중생대(中生代)의 퇴적암류(堆積岩類)는 크게 쥐라기(紀)의 람포층군(藍浦層群)과 백악기(白堊紀)의 능주층군(陵州層群)으로 대별(大別)되며 이들은 지역적(地域的)으로 소규모(小規模)로 분포(分布)한다. 전자(前者)는 세일, 사암(砂岩) 및 역암(礫岩) 등(等)으로 구성(構成)되어 있으며 후자(後者)는 응회암(凝灰岩)을 주로하고 용암류(熔岩流)를 협재(挾在)시키고 있다.

화강암류(花崗岩類)는 크게 쥐라기(紀)의 소위 대보화강암류(大寶花崗岩類)와 백악기(白堊紀)의 불국사화강암(佛國寺花崗岩)으로 대별(大別)된다. 전자(前者)는 여러 종류(種類)의 암상(岩相)을 나타내며 본역(本域)의 거의 전지역(全地域)에 넓게 분포(分布)하며 저지대(低地帶)를 형성(形成)하고 있다. 후자(後者)는 주로 흑운모화강암(黑雲母花崗岩)으로 되어 있으며 지역적(地域的)으로 소규모(小規模)의 분포상(分布狀)을 보인다. 섬록암질암(閃綠岩質岩)은 암맥상(岩脈狀)으로 서천군(舒川郡)에 매우 소규모(小規模)로 분포(分布)하고 있다(지질도참조(地質圖參照)).

논산(論山)-부여(夫餘)-서천군(舒川郡) 지역(地域)에 분포(分布)하는 암석(岩石)들의 지질계통(地質系統)은 표 1에서 나타난 바와 같다.



표 1. 충남일원(忠南一圓)의 지질계통표(地質系統表)



도판 1. 논산(論山)-부여(夫餘)-서천군(舒川郡) 지역(地域)의 지질도(地質圖)(1 : 250,000 전주(全州) 및 서산지질도(瑞山地質圖) 참조(參照))

선(先)캠브리아기(紀)의 서산층군(瑞山層群)은 규암(珪岩)과 편암류(片岩類)로 구성(構成)되어 있으며 이들은 주로 석영(石英)과 운모류(雲母類)로 되어 있다. 화강암질편마암(花崗岩質片麻岩)은 화성암기원(花成岩起源)으로 후기(後期)에 변성작용(變成作用)을 받아 생성(生成)된 것으로 암상(岩相)은 화강암(花崗岩)과 비슷하다. 주라기(紀)의 대보화강암(大寶花崗岩)은 흑운모화강암(黑雲母花崗岩), 각섬석화강암(角閃石花崗岩), 각섬석흑운모화강암(角閃石黑雲母花崗岩), 반상화강암(斑狀花崗岩) 및 화강섬록암(花崗閃綠巖) 등(等) 여러 암상(岩相)을 보이며 때로는 한 암체내(岩體內)에서도 공존(共存)하기도 한다.

주라기(紀)의 람포층군(藍浦層群)은 주로 사암(砂岩)과 세일로 되어 있으며 최하부(最下部)에는 역암(礫岩)이 발달(發達)하기도 한다. 이들은 과거 호수(湖水)와 같은 퇴적환경(堆積環境)에서 형성(形成)되어 진 것이다. 능주층군(陵州層群)은 백악기(白堊紀)에 형성(形成)된 것으로 화산분출물(火山噴出物)이 퇴적(堆積)된 응회암류(凝灰岩類)를 주로 하고 용암류(熔岩流)등이 렌즈상(狀)으로 협재(挾在)하고 있다. 백악기(白堊紀)의 섬록암질암(閃綠岩質岩)은 지하심부(地下深部)에서 생성(生成)된 암석(岩石)으로 일반적(一般的)으로 암주상(岩株狀)으로 소규모(小規模)의 분포(分布)를 한다. 백악기(白堊紀)의 흑운모화강암(黑雲母花崗岩)은 지하심부(地下深部)에서 형성(形成)된 치밀 견고한 암석(岩石)으로 주라기(紀)의 조립질(組立質)인 대보화강암류(大寶花崗岩類)와는 외견상(外見上)으로도 구별(區別)된다.

다음에 본역(本域)에서 주로 석탑(石塔)의 재료(材料)로 많이 사용(使用)된 흑운모화강암(黑雲母花崗岩)과 대보화강암류(大寶花崗岩類)에 대(對)해서 석재(石材)로서의 측면(側面)에서 간단히 개설(概說)하면 다음과 같다.

2-1. 흑운모화강암(黑雲母花崗岩)

본(本)암(岩)은 주로 석영(石英)[SiO_2], 사장석(斜長石)[$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 - \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$], 미사장석(微斜長石)[$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$]과 흑운모(黑雲母)[$(\text{OH})_2 \text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3 \text{Al}_3 \text{SiO}_4$]로 구성(構成)되어 있으며 견운모(絹雲母), 백운모(白雲母) 및 각섬석(角閃石) 등(等)이 소량(少量)으로 함유(含有)된다.

암석(岩石) 표면(表面)에서 석영(石英)은 대체로 반투명(半透明)의 담회색(淡灰色) 내지 우백색(優白色)을 나타내며 사장석(斜長石)은 주상결정(柱狀結晶)을 보이며 백색(白色) 내지 유백색(乳白色)을 나타낸다. 미사장석(微斜長石)은 일반적(一般的)으로 담홍색(淡紅色)을 띄며 주상(柱狀) 또는 사각형(四角形)의 결정형(結晶形)을 갖는다. 흑운모(黑雲母)는 유색광물중(有色鑛物中) 가장 많이 함유(含有)되는 광물(鑛物)로서 담록흑색(淡綠黑色)을 띄며 판상(板狀)의 결정형(結晶形)을 갖는다. 때로는 섬유상(狀) 또는 깃털모양으로 석영(石英) 및 장석류(長石類)들 사이에 발달(發達)하기도 한다.

이들 주구성광물(主構成鑛物)들의 입자(粒子)의 크기는 대체로 1~5mm로써 중립질(中粒質)이나 때로는 석영(石英)이나, 장석류(長石類)가 보다 크게 발달(發達)하여 반상조직(斑狀組織)을 보이기도 한다. 사장석(斜長石)은 후기(後期)에 열수변질작용(熱水變質作用)을 받아 부분적(部分的)으로 견운모(絹雲母)로, 그리고 흑운모(黑雲母)는 녹니석(綠泥石)으로 변질(變質)되어 있는 것이 보통이다. 석영(石英)과 장석(長石)이 한 입자내(粒子內)에 공존(共存)하고 있는 미르메카이트조직(組織)(myrmekite texture)을 보여 주기도 한다.

2-2. 쥐라기(紀)의 화강암류(花崗岩類)(대보화강암(大寶花崗岩))

본암(本岩)은 특히 풍화(風化)에 약하기 때문에 일반적(一般的)으로 낮은 구릉(丘陵)이나 저지대(低地帶)를 형성(形成)하는 것이 보통이며 저지대(低地帶)를 이루고 있는 논산읍(論山邑)을 중심(中心)으로 하는 지역(地域)은 본암(本岩)이 분포(分布)하고 있기 때문이다.

본암(本岩)은 주(主)로 석영(石英), 사장석(斜長石), 미사장석(微斜長石), 정장석(正長石), 흑운모(黑雲母) 및 각섬석(角閃石) 등(等)으로 구성(構成)되어 있으며 흑운모(黑雲母)와 각섬석(角閃石)의 함량(含量)의 차이(差異)에 의하여 흑운모화강암(黑雲母花崗岩), 각섬석일흑운모화강암(角閃石一黑雲母花崗岩), 각섬석화강암(角閃石花崗岩) 및 화강섬록암(花崗閃綠巖) 등(等)으로 구별(區別)된다. 반상화강암(斑狀花崗岩)은 석영(石英), 장석류(長石類) 및 흑운모(黑雲母) 등(等)이 반정(斑晶)으로 산출(產出)되며 바탕을 이루는 광물(鑛物)들은 보다 세립질(細粒質)인 암석(岩石)이다.

이들 암석(岩石)들은 중립(中粒) 내지 조립질(粗立質)(5mm이상)로써 때로는 광물(鑛物)들이 한 방향(方向)으로 평행(平行)하게 배열(配列)되어 있어 방향성(方向性)을 보여 주는 경우가 있으며 이는 본암(本岩)이 지하심부(地下深部)에서 생성(生成)될 때에 형성(形成)된 화성선리(火成線理)와 후기(後期)의 광역변성작용(廣域變成作用)에 의하여 생성된 편상구조(片狀構造)로 구분(區分)되어진다. 편상구조(片狀構造)가 잘 발달된 화강암(花崗岩)을 편상화강암(片狀花崗岩)이라고 한다. 이러한 구조(構造)를 가진 암석(岩

石)은 풍화(風化)될 때 이러한 선(線)이나 대(帶)를 따라 떨어져 나가는 박리현상(剝離現象)(exfoliation)이나 양과겹질구조(構造)(onion-structure)가 발달(發達)되며 쉽게 부서지는 것이 보통이다.

주구성광물(主構成鑛物)들의 특징(特徵)은 전기(前記)한 흑운모화강암(黑雲母花崗岩)에서 설명(說明)한 바와 비슷하다. 각섬석(角閃石)은 담흑녹색(淡黑綠色)을 띄며 주상(柱狀)의 결정형(結晶形)을 가지고 있어 흑운모(黑雲母)와 구별(區別)이 가능(可能)하다.

3. 석재(石材)의 종류(種類)

3-1. 충남일원(忠南一圓)의 석탑(石塔)

A. 석탑(石塔)의 분포(分布)

충남일원(忠南一圓)에서 조사(調查) 관찰(觀察)된 석탑(石塔)은 모두 17기(基)로써 논산(論山), 부여(夫餘) 및 서천군내(舒川郡內)에 위치(位置)하는 것으로, 그 축조시기는 백제시대(百濟時代)부터 고려말(高麗末)에 이른다. 이번에 관찰(觀察)한 석탑(石塔)들의 분포(分布)는 도판 2에서 보는 바와 같으며 그 명칭(名稱)과 주로 사용(使用)된 석재(石材)는 표 2에서 나타난 바와 같다. 주로 사용(使用)된 석재(石材)라고 하는 것은 부분적(部分的)으로 다른 종류(種類)의 석재(石材)를 사용(使用)한 경우가 있기 때문이다. 후기(後期)에 이전(移轉)된 것도 원래(原來)의 위치(位置)와는 멀지 않을 것으로 판단(判斷)되며 이는 주위 암석분포(岩石分布)와 연관지을 때 석재(石材)의 공급지(供給地)를 구명(究明)하는데 중요(重要)한 요소(要素)가 될 것으로 생각된다.



도판 2. 석탑(石塔)의 분포(分布)와 행정구역(行政區域)

번호	石塔名	石材의 岩石名	粒度	주위에 分布하는 岩石의 種類
1	龍興寺五層石塔	斑狀角閃石花崗岩	粗粒	중마紀의 花崗岩
2	塔亭里石塔	斑狀角閃石黑雲母花崗岩	粗粒	"
3	開泰寺五層石塔	黑雲母花崗岩	中粒내지粗粒	중마紀의 花崗岩, 石英斑岩, 片岩類
4	細塔里五層石塔	黑雲母花崗岩, 기타	粗粒	중마紀의 花崗岩, 片麻岩類
5	蘇內里淨淸形石塔	斑狀黑雲母花崗岩	中粒	"
6	長蝦里三層石塔	여러 種類의 岩石		중마紀의 花崗岩, 黑雲母花崗岩
7	定林寺五層石塔	斑狀質片狀黑雲母花崗岩	粗粒	黑雲母花崗岩
8	金岩里五層石塔	角閃石花崗岩	中粒	黑雲母花崗岩, 片麻岩類
9	大鳥寺三層石塔	片狀黑雲母花崗岩	粗粒	片麻岩類, 片岩類
10	神良里五層石塔	角閃石黑雲母花崗岩	中粒내지粗粒	黑雲母花崗岩, 片麻岩類, 凝灰岩類
11	花城里五層石塔	優白質花崗岩	粗粒내지中粒	凝灰岩類, 片麻岩類
12	無量寺五層石塔	角閃石花崗岩	中粒	"
13	水岩里三層石塔	閃綠岩質岩	"	片麻岩類, 중마紀의 花崗岩類, 閃綠岩質岩
14	芝峴里三層石塔	角閃石花崗岩	"	片麻岩類, 片岩, 玢岩, 閃綠岩質岩
15	支石里三層石塔	角閃石花崗岩	"	중마紀의 花崗岩, 片麻岩類, 砂岩, 셰일
16	庇仁五層石塔	角閃石花崗岩	粗粒	片麻岩類, 凝灰岩類, 片岩, 玢岩
17	峰南里三層石塔	閃綠岩質岩	中粒	중마紀의 花崗岩, 片麻岩類, 砂岩, 셰일

표 2. 석탑(石塔)의 명칭(名稱), 석재(石材)의 암종(岩種), 입도(粒度) 및 주위 지역(地域)에 분포(分布)하는 암석(岩石)의 종류(種類)

※①번호는 도판 2(석탑(石塔)의 분포도(分布圖))의 번호와 동일함.

②입도(粒度)의 세립(細粒) : 1mm이하

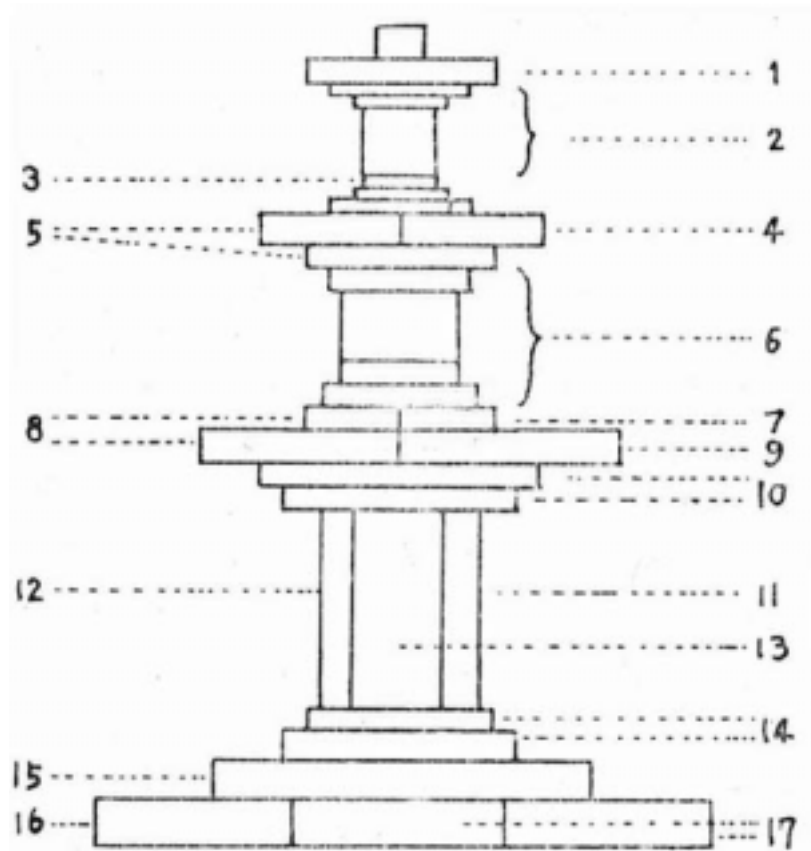
중립(中粒) : 1~5mm

조립(粗立) : 5mm이상을 나타냄.

B. 부위별(部位別) 석재(石材)의 종류(種類)

본역(本域)에 위치(位置)하는 석탑(石塔)의 석재(石材)는 최초에는 동종(同種)의 암석(岩石)을 사용(使用)하였던 것으로 생각된다. 즉 부위별(部位別)로 어떤 특수(特殊)한 암종(岩種)을 선택한 것이 아니고 한 종류(種類)의 암석(岩石)만을 사용(使用)하였다. 그러나 일부(一部)의 석탑(石塔)에는 부위별(部位別)로 상이(相異)한 암종(岩種)이 관찰(觀察)되기도 하는데 이것은 후기(後期)(시기(時期))는 불명(不明)하나 풍화도(風化度)등으로 볼 때 오래 된 것으로 생각됨의 보수시(補修時)에 사용(使用)하였던 것으로 판단(判斷)된다. 현재(現在)까지 단일(單一) 암종(岩種)만으로 구성(構成)되어 있는 것의 가장 대표적(代表的)인 것으로는 정림사지오층석탑(定林寺址五層石塔)을 들 수 있다. 이 탑(塔)은 전체가 반상질흑운모편상화강암(斑狀質黑雲母片狀花崗岩)으로 되어 있다. 부위별(部位別)로 상이(相異)한 암종(岩種)을 사용(使用)한 경우 일반적(一般的)으로 원래의 암종(岩種)과 외견상(外見上) 대체로 비슷하나 전혀 다른 경우도 관찰(觀察)된다. 이러한 상이(相異)한 암종(岩種)은 풍화도(風化度)를 중심(中心)으로 생각해 볼 때 후기(後期) 보수시(補修時)에 사용(使用)된 것으로 판단(判斷)되나 풍화대(風化帶)의 깊이등으로 볼 때 그 시기(時期)는 오래전에 수행된 것이라고 생각된다. 여러 종류(種類)의 암종(岩種)이 섞여있는 것 중 하나의 예를 들면 장하리이층석탑(長蝦里二層石塔)이다. 이 탑(塔)의 최초(最初)에 사용(使用)된 석재(石材)는 중립질(中粒質)이며 비교적 균질(均質)한 흑운

모화강암(黑雲母花崗岩)이었던 것으로 생각되며 이들은 현재 1층(層)과 기단석(基壇石)에 남아있다(도판 3 참조(參照)). 이러한 상이(相異)한 암종(岩種)은 각각(各各) 상이(相異)한 물리적(物理的) 및 화학적(化學的) 성질(性質)과 자연풍화(自然風化)에 대한 저항도가 다르기 때문에 탑(塔)의 보존(保存)에 있어서 고려해야 할 중요(重要)한 요소(要素)가 된다고 판단(判斷)된다. 이 탑(塔)의 경우 다른 암종(岩種)의 석재(石材)의 풍화도(風化度)의 정도로 볼 때 사용(使用)된 시기(時期)는 매우 오래 된 것으로 판단(判斷)되며 이는 자연풍화(自然風化)에 의한 것으로 생각된다. 다음에 장하리이층석탑(長蝦里二層石塔)의 경우 사용(使用)된 석재(石材)의 종류(種類)를 부위별(部位別)로 표시(表示)하면 도판 3과 같다.



도판 3. 장하리삼층석탑(長蝦里三層石塔)의 부위별(部位別) 암종(岩種)

- ※1. 흑운모화강암(黑雲母花崗岩)(세립(細粒))
- 2. 흑운모편상화강암(黑雲母片狀花崗岩)(조립(粗粒))
- 3. 흑운모화강암(黑雲母花崗岩)(세립(細粒))
- 4. 반상질흑운모편상화강암(斑狀質黑雲母片狀花崗岩)(조립(粗粒))
- 5. 흑운모화강암(黑雲母花崗岩)(세립(細粒))
- 6. 흑운모편상화강암(黑雲母片狀花崗岩)(조립(粗粒))
- 7. 반상흑운모화강암(斑狀黑雲母花崗岩)(조립(粗粒))
- 8. 흑운모화강암(黑雲母花崗岩)(중립(中粒))
- 9. 흑운모편상화강암(黑雲母片狀花崗岩)(조립(粗粒))

10. 흑운모화강암(黑雲母花崗岩)(중립(中粒))
11. 반상질흑운모편상화강암(斑狀質黑雲母片狀花崗岩)(중립(中粒))
12. 백운모화강암(白雲母花崗岩)(조립(粗粒))
13. 흑운모화강암(黑雲母花崗岩)(중립(中粒))
14. 반점상대상흑운모편마암(斑點狀帶狀黑雲母片麻岩)(조립(粗粒))
15. 반상흑운모화강암(斑狀黑雲母花崗岩)(중립(中粒))
16. 흑운모화강암(黑雲母花崗岩)(조립(粗粒))
17. 흑운모화강암(黑雲母花崗岩)(중립(中粒))

도판 3에서 보는 바와 같이 세립질(細粒質) 및 중립질(中粒質)의 흑운모화강암(黑雲母花崗岩)과 흑운모편상화강암(黑雲母片狀花崗岩)이 주로 사용(使用)되었으나 그외 다른 5종(種)의 암석(岩石)이 섞여 있다. 그러나 모두 화강암류(花崗岩類)이며 14번의 경우에 만 외견상(外見上) 흑운모편상화강암(黑雲母片狀花崗岩)과 비슷한 편마암(片麻岩)이 사용(使用)되었다. 흑운모화강암(黑雲母花崗岩)도 조직(組織)에 있어서 세립(細粒), 중립(中粒) 및 조립질(粗粒質)로 나뉘어진다. 이들 각종(各種)의 암석(岩石)들은 각각 풍화(風化)에 대한 저항도가 다르기 때문에 풍화(風化)의 정도(程度)를 가지고는 최초(最初)에 사용(使用)된 암석(岩石)을 식별(識別)해 낼 수가 없다. 만약 최초(最初)에 현재(現在)와 같은 암종(岩種)들로 축조를 하지 않았다고 할 때 옥개석이나 기단석의 암석(岩石) 등(等)으로 그리고 가장 많은 것 등으로 판단(判斷)할 때 최초(最初)에는 세립(細粒) 내지 중립질(中粒質)의 흑운모화강암(黑雲母花崗岩)을 사용(使用)하였던 것으로 생각된다. 이 암석(岩石)은 이 탑(塔)에 사용(使用)된 다른 암종(岩種)에 비해 풍화(風化)에 대한 저항도가 높아 후기(後期)에 사용(使用)된 다른 종류(種類)의 석재(石材)와 풍화도(風化度)가 비슷하거나 오히려 낮은 상태(狀態)로 남아 있다.

3-2. 景福宮內의 石塔

경복궁내(景福宮內)에 보존(保存)되어 있는 석탑(石塔)들 중 관찰(觀察)된 것은 모두 12기(基)로써 우리나라 각처에 산재(散在)해 있는 것들을 한 곳에 모아서 보존(保存)하고 있는 것들이다. 상기(上記)한 12기(基)의 석탑(石塔)중 암종(岩種)의 식별(識別)이 용이한 것들에 대한 석재(石材)의 종류(種類)를 관찰(觀察)한 결과(結果)를 종합(綜合)해 보면 다음과 같다.

표 3에서 알 수 있는 바와 같이 경복궁내(景福宮內)에 보존(保存)되어 있는 석탑(石塔)들의 석재(石材)는 원래(原來)의 위치(位置)는 모두 상이(相異)하지만 거의가 비슷한 성질(性質)을 갖는 화강암류(花崗岩類)로 구성(構成)되어 있으며 몇 기(基)의 경우 기단석(基壇石) 등(等)이 상이(相異)한 암종(岩種)으로 이루어져 있는 것이 관찰(觀察)되는데 이는 이전(移轉)할 당시 서울 부근에 분포(分布)하고 있는 암석(岩石) 즉 서울화강암(花崗岩)(담홍색흑운모화강암(淡紅色黑雲母花崗岩))을 사용(使用)하였던 것이라고 생각된다.

화강암의 종류(種類)는 대체로 흑운모화강암(黑雲母花崗岩)을 주(主)로 사용(使用)하였고 다음이 각섬석화강암(角閃石花崗岩)이다. 입자(粒子)의 크기를 보면 세립(細粒) 내지 중립(中粒)이 대부분이나 조립(粗粒)인 경우도 적지 않다. 이러한 암상(岩相)의 종류(種

類)는 이들의 원래(原來)의 위치(位置) 부근의 지질(地質)과 연관을 가지고 있을 것으로 판단(判斷)된다.

표 3. 경북궁내(景福宮內)의 석탑(石塔)

石塔名	石材의 岩石名	粒度	원래의 所在地	비고
서울 홍제동 五層石塔	淡紅色黑雲母花崗岩	粗粒	서울 홍제동	소위 서울 花崗巖과 同一, 홍제동부근의 岩種과 一致
二層石塔	黑雲母花崗巖質片麻巖	粗粒		(설명문이 없음)
전흥법사 엄거화상탑	黑雲母花崗巖	細粒	강원도 원성군 지정면 안창리	
산청법학리 3층석탑	角閃石花崗巖	粗粒	경남 산청군 산청면 법학리	
흥법사진공대사탑부석관	黑雲母花崗巖	細粒	강원도 원성군 지정면 흥법사	
법천사지광국사현묘탑	黑雲母花崗巖	中粒	강원도 원성군 부론면 법천리	
五層石塔	黑雲母花崗巖	細粒		(설명문이 없음)
남계원 7층석탑	黑雲母角閃石花崗巖	粗粒	경기도 개성군 남계원	
정두사지 5층석탑	黑雲母花崗巖	中粒	경북 칠곡군 정두사지	

4. 충남일원(忠南一圓)의 석탑(石塔)의 석재(石材)의 종류(種類)와 암석분포(岩石分布)와의 관계(關係)

석탑(石塔)의 위치(位置)가 확실하고 석탑(石塔)을 이루는 석재(石材)의 종류(種類)가 비교적 잘 관찰(觀察)된 충남일원(忠南一圓), 특(特)히 논산(論山)-부여(夫餘)-서천군(舒川郡) 지역(地域)에 대하여 주위 지역(地域)의 암석분포(岩石分布)와 상호(相互) 비교(比較)해 봄으로써(제2장에서 설명(說明)되었음) 석재(石材)의 공급지(供給地)를 추정(推定)할 수 있으며 이를 예(例)로 하여 타(他) 지역(地域)에 대하여서도 기초자료(基礎資料)로 사용(使用)할 수가 있을 것이다.

본역(本域)에 산재(散在)해 있는 석탑(石塔)들은 거의 대부분이 화강암류(花崗岩類)를 석재(石材)로 사용(使用)하였다. 그러나 암상(岩相)에 있어서는 지역적(地域的)으로 약간씩 다르다. 즉 현재의 논산군(論山郡) 지역(地域)에서는 조립질(粗粒質)의 각섬석(角閃石) 또는 흑운모화강암(黑雲母花崗岩)을, 부여군(扶餘郡) 지역(地域)에서는 각섬석(角閃石) 또는 흑운모화강암(黑雲母花崗岩) 외에 지역(地域)에 따라 상이(相異)한 암종(岩種)을 사용(使用)하였다. 서천군(舒川郡) 지역(地域)에서는 각섬석화강암(角閃石花崗岩)과 섬록암질암(閃綠岩質岩)의 두 종류(種類)만 사용(使用)하였음이 관찰(觀察)된다. 이러한 지역적(地域的) 석재(石材)의 암종(岩種)의 차이(差異)는 그 지역(地域)의 암석분포(岩石分布) 즉 지질(地質)과 밀접한 연관성을 가지고 있는 것으로 생각된다.

지질도(地質圖)(도판1)에서 보듯이 논산군(論山郡) 지역(地域)에는 주라기(紀)의 화강암류(花崗岩類)가 거의 전지역(全地域)에 걸쳐 광범위하게 분포(分布)하고 있으며, 부여군(扶餘郡) 지역(地域)에서는 주라기(紀)의 화강암류(花崗岩類)와 백악기(白堊紀)의 흑운

모화강암(黑雲母花崗岩)이 중부(中部)지역(地域)에 주로 분포(分布)하고 있다. 서천군(舒川郡) 지역(地域)에는 쥬라기(紀)의 화강암류(花崗岩類)가 매우 소규모로 산재(散在)하여 분포(分布)하며 섬록암질암(閃綠岩質岩)이 암주상(岩株狀)으로 소규모로 분포(分布)한다.

쥬라기(紀)의 화강암류(花崗岩類)는 암체(岩體)가 비교적 큰 경우 지역적(地域的)으로 여러 암상(岩相)을 나타내는 수가 많다. 실제로 논산군(論山郡)과 부여군(扶餘郡)에 걸쳐 저반상(底盤狀)으로 분포(分布)하는 화강암체(花崗岩體)는 화강섬록암(花崗閃綠巖), 반상흑운모화강암(斑狀黑雲母花崗岩), 석영(石英)몬조니암(岩), 복운모화강암(複雲母花崗岩) 및 흑운모화강암(黑雲母花崗岩) 등(等) 지역적(地域的)으로 암상(岩相)을 달리 하고 있다. 또한 이들 암석(岩石)들은 후기(後期)의 광역변성작용(廣域變成作用)에 의하여 편상조직(片狀組織)을 나타내기도 한다. 부여군(扶餘郡) 중부(中部)지역(地域)에 비교적 넓게 분포(分布)하는 백악기(白堊紀)의 흑운모화강암(黑雲母花崗岩)도 국부적(局部的)으로 각섬석(角閃石)의 함량(含量)이 증가하여 각섬석일흑운모화강암(角閃石一黑雲母花崗岩) 또는 각섬석화강암상(角閃石花崗岩相)을 보이고 있다(이러한 한 암체내(岩體內)에서의 암상(岩相)의 변화(變化) 양상(樣相)을 마그마분화(分化)라고 한다).

이러한 암석(岩石)의 분포(分布)와 석재(石材)의 암종(岩種)을 비교하여 볼 때 부여군내(扶餘郡內)에 있는 석탑(石塔)의 석재(石材)는 주위 2~3km 범위안에 분포(分布)하는 암종(岩種)과 일치(一致)한다. 그러나 보다 멀리 떨어져 있는 암석(岩石)의 종류(種類)와 동일(同一)한 경우도 있으나 그 거리는 약 15~16km 정도에 불과하다.

서천군(舒川郡) 지역(地域)의 경우에는 석재(石材)의 종류(種類)와 암석(岩石)의 분포(分布)가 비교적 잘 일치(一致)하고 있으나 그 거리는 5~10km 정도이다.

상기(上記)한 바와 같이 본(本) 지역(地域)의 경우 석탑(石塔)의 석재(石材)는 암석분포(岩石分布)와 비교할 때 대부분이 가까운 곳에서 공급(供給)되었으며 특별히 암종(岩種)을 선정하여 타지역(他地域)에서 운반하여 사용(使用)하였던 것은 아니라고 판단(判斷)된다.

5. 석재(石材)의 성질(性質)

암석(岩石)의 석재(石材)로서의 중요(重要)한 성질(性質)은 크게 물리적(物理的) 및 화학적(化學的) 성질(性質)로 나눌 수 있으며 이런 성질(性質)들은 풍화(風化)에 대한 저항도와 밀접한 연관성을 가지고 있으므로 여기에서는 석재(石材)로 주로 사용(使用)된 화강암류(花崗岩類)의 일반적(一般的)인 물리(物理)·화학적(化學的) 성질(性質)에 대해서 개설(概說)하기로 한다.

5-1. 물리적(物理的) 성질(性質)

암석(岩石)의 물리적(物理的) 성질(性質)은 암종(岩種)에 따라 약간씩 상이(相異)하다. 이는 암석(岩石)의 생성과정(生成過程), 생성당시(生成當時)의 조건(條件) 등(等)에 의하여 결정(決定)된다. 화강암류(花崗岩類)의 석재(石材)로서의 중요(重要)한 물리적(物理的) 성질(性質)에는 절리(節理)의 발달(發達)과 압축강도(壓縮強度)를 들 수 있으며, 후

자(後者)는 특히 암석(岩石)의 구성광물(構成鑛物), 석영(石英) 등(等)과 같은 광물(鑛物)의 함량(含量), 입도(粒度) 및 조직(組織) 등(等)과 밀접한 관계를 갖는다.

화강암류(花崗岩類)에는 일반적(一般的)으로 많은 절리(節理)가 발달(發達)되어 있다. 절리(節理)는 암석(岩石)이 마그마로부터 생성되어 점차로 냉각되는 중에 형성(形成)되기도 하며 또는 후기(後期)에 지각변동(地殼變動)이나 조구조운동(造構造運動) 등(等)에 의한 횡압력(橫壓力)에 의하여 이차적(二次的)으로 형성(形成)되기도 한다. 이러한 절리(節理)는 대체로 같은 방향성(方向性)을 갖고 수 cm에서 수 10m의 간격으로 평행(平行)하게 발달(發達)하며 그 연장(延長)은 보통 수 10m에서 수 100m에 이른다. 또한 방향(方向)이 서로 다른 절리(節理)가 교차하여 발달(發達)하기도 한다. 이러한 절리(節理)는 암석(岩石)이 지표(地表)에 노출(露出)되면 보통 관찰(觀察)할 수 있지만 최초(最初)에는 외견상(外見上) 나타나지 않는 경우도 많다. 그러나 풍화(風化)가 진행됨에 따라 암석(岩石)의 물성(物性)이 약해져 서서히 나타나기도 하며 드디어 암석(岩石)의 균열을 가져오게 한다.

압축강도(壓縮強度)는 암석(岩石)의 조직(組織)(광물입자(鑛物粒子)들이 서로 섞여 있는 상태(狀態)), 광물조성(鑛物組成) 및 특정광물(特定鑛物)의 함량(含量) 정도(程度) 및 공극률(空隙率) 등(等)에 따라 크게 좌우된다. 그러나 화강암(花崗岩)의 경우 공극률(空隙率)이 아주 적기 때문에 압축강도(壓縮強度)에는 큰 영향을 미치지 않는다. 광물조성면(鑛物組成面)으로는 경도(硬度)가 높은 석영(石英), 장석(長石), 각섬석(角閃石) 및 휘석(輝石) 등(等)이 많이 함유(含有)되어 있는 것이 경도(硬度)가 낮은 운모류(雲母類), 녹니석(綠泥石) 및 방해석(方解石) 등(等)이 많은 암석(岩石)보다 압축강도(壓縮強度)가 높다. 이는 같은 화강암류(花崗岩類)에 있어서도 광물(鑛物)들의 함량(含量)의 차이(差異)에 의하여 압축강도(壓縮強度)에 차이(差異)가 있음을 나타낸다.

화강암류(花崗岩類)에 있어서 압축강도(壓縮強度)에 영향을 주는 조직(組織)으로는 입도(粒度)와 반상조직(班狀組織)의 유무(有無) 그리고 화성선리(火成線理)나 편상구조(片狀構造)의 발달성(發達性) 등(等)이 있다. 입도(立稻)가 낮을수록(세립질(細粒質)) 또한 반정(反正)이 없이 광물(鑛物)들이 골고루 흩어져 있는 균질성(均質性)을 띠을수록 압축강도(壓縮強度)가 높아진다. 반상조직(班狀組織)을 갖는 경우 반정(反正)의 크기가 작을수록 그리고 일정(一定)한 방향성(方向性)을 나타내지 않고 불규칙(不規則)하게 산재(散在)하여 있을 때 압축강도(壓縮強度)는 높아진다. 편상구조(片狀構造)나 화성선리(火成線理)가 발달(發達)하게 되면 압축강도(壓縮強度)는 방향(方向)에 따라 상이(相異)하지만 전체적으로도 낮아진다.

상기(上記)한 것을 종합(綜合)해 보면 입도(粒度)가 높을수록(조립질(粗立質)), 반상조직(班狀組織), 화성선리(火成線理) 또는 편상구조(片狀構造)를 갖거나 경도(硬度)가 낮은 광물(鑛物)들의 함량(含量)이 높고, 입자(粒子)의 크기가 상이(相異)하고 치밀하게 결합(結合)되어 있지 않을수록 압축강도(壓縮強度)는 낮아지게 된다. 압축강도(壓縮強度)는 암석(岩石)이 견딜 수 있는 하중(荷重)의 정도(程度)를 나타내는 것이기 때문에 석造物(石造物)의 재료(材料)로 사용(使用)될 경우 중요(重要)한 요소(要素)가 된다.

석탑(石塔)에 사용(使用)된 석재(石材) 자체(自體)에 대한 지질학적(地質學的)인 여러 성질(性質)에 대하여는 직접 조사(調查)할 수가 없기 때문에 충남일원(忠南一圓) 부근에 분포(分佈)하는 화강암류(花崗岩類)와 기타 지역(地域)의 화강암류(花崗岩類)를 상호 비교하여 보면 표 4와 같다.

표 4에서 보는 바와 같이 대부분이 석영(石英)과 장석류(長石類)로 구성(構成)되어 있으며 운모류(雲母類)와 각섬석(角閃石)이 소량 함유(含有)되어 있다. 압축강도(壓縮強度)는 한 암체(岩體)에서의 경우에도 운모류(雲母類)의 함량(含量)이 많아지거나 또는 장석류(長石類)의 변질도(變質度)가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보인다. 이러한 예(例)는 황등지역의 경유와 정읍지역의 시료(試料)에서 잘 나타난다. 장석류(長石類)는 변질(變質)되면 일반적(一般的)으로 물성(物性)이 매우 약한 견운모(絹雲母)나 점토광물(粘土礦物)로 변(變)하게 된다.

5-2. 화학적(化學的) 성질(性質)

암석(岩石)의 화학적(化學的) 성질(性質)은 주로 구성광물(構成礦物)의 종류(種類)와 함량(含量) 그리고 입자(粒子)의 크기에 의하여 크게 영향을 받는다. 석영(石英)이나 장석류(長石類)의 함량(含量)이 많을수록 SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , 및 CaO 등이 증가하며, 운모류(雲母類)와 각섬석(角閃石)이 많을수록 MgO , FeO 및 Fe_2O_3 등(等)이 증가한다. 일반적(一般的)으로 화강암류(花崗岩類)의 화학성분(化學成分)의 함량(含量)은 SiO_2 가 64~76%, Al_2O_3 가 8~16.5%, CaO 0.1~3%, Na_2O 2~6%, K_2O 2.7~4.5%, $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 1.7~13%, 그리고 MgO 0.1~4.7%의 범위내에 있다.

표 4. 화강암류(花崗岩類)의 압축강도(壓縮強度), 광물조성(礦物組成) 및 입도(立稻) 사이의 대비표(對比表)

지역	압축강도 ① (kg/cm ²)	주 구성광물(함량순서 1%이상)	장석변질 도(%)	입도(mm)
황등 I	14.25	사장석, 석영, 미사장석, 정장석, 흑운모	15.09	0.2~0.7
II	6.52	정장석, 석영, 미사장석, 사장석, 각섬석, 흑운모, 백운모	50.47	0.3~1.1
III	9.41	미사장석, 석영, 정장석, 흑운모, 사장석	7.71	0.3~1.7
IV	10.57	미사장석, 석영, 정장석, 사장석, 흑운모	8.84	0.3~0.9
공주 I	7.78	석영, 정장석, 미사장석, 흑운모, 사장석, 백운모, 불투명 광물	30.31	0.3~0.9
II	10.01	석영, 정장석, 사장석, 백운모, 흑운모, 미사장석	14.48	0.3~1.3
광주 I	25.64	사장석, 석영, 미사장석, 정장석, 각섬석, 흑운모, 견운모	6.40	0.1~0.5
정읍 I	19.84	석영, 정장석, 사장석, 미사장석, 흑운모, 백운모	27.21	0.3~0.5
II	30.44	사장석, 정장석, 석영, 흑운모, 미사장석, 녹염석, 견운모, 백운모	9.44	0.1~0.5
의정부 I	11.34	석영, 정장석, 미사장석, 사장석, 백운모, 흑운모	4.26	0.3~1.1
II	11.02	석영, 미사장석, 정장석, 흑운모	7.26	0.3~2.1
강화 I	39.21	석영, 미사장석, 사장석, 정장석, 흑운모, 불투명광물	8.99	0.1~0.5
II	24.11	정장석, 석영, 미사장석, 사장석, 흑운모, 백운모	11.01	0.1~0.5
수원	10.62	정장석, 미사장석, 석영, 사장석, 흑운모	26.03	0.3~0.9
관악	9.67	석영, 미사장석, 사장석, 정장석, 흑운모	14.01	0.1~0.9
도봉산	23.92	석영, 미사장석, 정장석, 사장석, 흑운모	10.29	0.3~0.7
홍은동	10.77	미사장석, 사장석, 석영, 정장석, 흑운모, 각섬석	8.49	0.3~2.3

상기(上記)한 성분중(成分中)에서 SiO_2 와 Al_2O_3 가 많을수록 화학적(化學的)으로 안정(安定)하며 CaO , Na_2O , FeO , Fe_2O_3 및 MgO 등(等)이 증가할수록 화학적(化學

的)으로 특(特)히 풍화(風化)에 대하여 불안정(不安定)해 지는 경향이 있다. 이는 후자(後者)의 성분(成分)들이 화강암(花崗岩)이 마그마로부터 광물(鑛物)들이 정출(晶出)될 때 고온성(高溫性)의 광물(鑛物)들에 많이 함유(含有)되기 때문이다. 따라서 화학성분(化學成分)의 함량(含量)의 차이(差異)는 조성광물(造成鑛物)에 그대로 반영되어 나타난다.

화학성분(化學成分)과 조성광물(造成鑛物)의 함량(含量)의 차이(差異)에 의한 화학적(化學的) 안정성(安定性) 특히 풍화(風化)에 대한 저항도는 광물입자(鑛物粒子)의 크기와 조직(組織)에 의하여 영향을 받는다. 즉 광물입자(鑛物粒子)들이 조립(組立)이고 치밀하게 결합(結合)되어 있을수록 화학적(化學的) 안정성(安定性)은 증가한다. 여기에서 화학적(化學的) 안정성(安定性)이란 주로 풍화(風化)에 대한 저항도를 의미(意味)한다.

지질개요(地質概要)가 설명(說明)된 충남일원(忠南一圓)에 분포(分布)하는 주라기(紀)의 화강암류(花崗岩類)의 광물조성(鑛物組成), 입도(粒度) 및 조직(組織)을 보면 석영(石英) 24~26%, 사장석(斜長石) 22~60%, 정장석(正長石) 1~3%, 미사장석(微斜長石) 24~46%, 흑운모(黑雲母) 0.5~13%, 각섬석(角閃石) 0~1.3% 및 기타의 유색광물(有色鑛物)(Fe, Mg를 함유(含有)하며 색(色)을 갖는 광물(鑛物))들로 되어 있으며, 입도(粒度)는 중립(中粒) 내지 조립질(組立質)이다. 이러한 광물(鑛物)들의 암석내(岩石內)에서의 분포(分布)는 비교적 균질(均質)한 것이 특징이다. 광물조성(鑛物組成)에 있어 함량(含量)의 변화(變化)가 큰 것은 암상(岩相)의 국부적(局部的)인 차이(差異)에 기인(起因)한다. 이러한 성질(性質)의 주라기의 화강암류(花崗岩類)에 반(反)하여 백악기(白堊紀)의 흑운모화강암(黑雲母花崗岩)은 거의 석영(石英), 장석류(長石類) 및 10~15%의 흑운모(黑雲母)로 구성(構成)되고 입도(粒度)가 세립(細粒) 내지 중립질(中粒質)이다.

이 지역(地域)에서 주라기(紀)의 화강암류(花崗岩類)가 저지대(低地帶)나 낮은 구릉(丘陵)을 이루며 두꺼운 풍화토(風化土)를 형성(形成)하고 있는 것은 본(本)암(岩) 더 풍화(風化)에 약한 성질(性質)에 기인(起因)하는 것이다.

6. 석재(石材)의 풍화도(風化度)

6-1. 개요(概要)

암석(岩石)의 풍화(風化)에 대한 저항도는 전장(前章)에서 설명(說明)한 암석(岩石)의 물리적(物理的) 및 화학적(化學的) 성질(性質)과 밀접한 관계를 갖고 있다. 화강암류(花崗岩類)는 조직면(組織面)에서 볼 때 조립질(粗粒質)일수록, 화성선리(火成線理)나 편상구조(片狀構造)인 경우 그리고 반상조직(班狀組織)을 나타낼수록 자연풍화(自然風化)에 대한 저항도가 낮아진다. 광물조성면(鑛物組成面)에서는 사장석(斜長石), 정장석(正長石), 흑운모(黑雲母) 및 백운모(白雲母) 등(等)의 함량(含量)이 증가할수록 저항도는 역시 낮아진다. 화학성분(化學成分)의 함량(含量)으로 보면 CaO, K₂O, Na₂O, FeO 및 Fe₂O₃ 등이 증가하면 자연풍화(自然風化) 또는 생물학적(生物學的) 풍화(風化)에 대한 저항도가 낮아진다. Fe의 경우 FeO(Fe□□)는 자연상태(自然狀態)에서 쉽게 산화(酸化)되어 Fe₂O₃가 되기 때문에 Fe₂O₃보다 FeO의 함량(含量)이 많을수록 풍화(風化)에 의하여 FeO를 함유(含有)하고 있는 광물(鑛物)이 쉽게 파괴되는 결과(結果)를 가져온

다. 상기(上記)한 바를 간단히 요약(要約)하면 표 5와 같다.

표 5. 암석(岩石)의 물리(物理)·화학적(化學的) 성질(性質)과 풍화(風化)저항도와와의 비교(比較)

	風化가 잘 됨	風化가 잘 안됨
粒 度	組立質	細粒質
組 織	火成線理, 片狀構造의 發達, 斑狀組織, 不均質	塊狀, 均質, 非粒狀
構 造	節理나 균열의 發達	
造成鑛物	斜長石, 正長石, 黑雲母, 白雲母等の 含量이 많음	石英의 含量이 많음
化學成分	CaO, K ₂ O, Na ₂ O, FeO, Fe ₂ O ₃ , MgO等の 含量이 많음	SiO ₂ 와 Al ₂ O ₃ 의 含量이 많음

6-2. 풍화상태(風化狀態)

석탑(石塔)의 석재(石材)의 풍화(風化)는 크게 자연풍화(自然風化)와 인위적(人爲的)인 영향에 의한 것으로 나눌 수 있다. 자연풍화(自然風化)는 석탑(石塔)이 오랜 세월 동안 자연환경(自然環境)에 그대로 노출되어진 결과(結果)이며 이는 암석(岩石)의 물리(物理)·화학적(化學的) 성질(性質)에 의하여 그 풍화도(風化度)가 좌우된다.

충남일원(忠南一圓)과 경북궁(景福宮)내에 보존(保存)되어 있는 석탑(石塔)들의 석재(石材)는 앞에서 설명(說明)한 바와 같이 거의 대부분이 화강암류(花崗岩類) 또는 화강암질(花崗岩質) 성분(成分)을 갖는 암종(岩種)을 사용(使用)하였다. 이들은 풍화(風化)에 대한 저항도가 낮아 오랜 세월동안의 자연풍화(自然風化)에 의하여 석재(石材)의 표면(表面)이 심하게 풍화(風化)되어 있는 것이 보통이다. 일반적(一般的)으로 풍화도(風化度)는 심하여 암석표면(岩石表面)으로부터 최하(最下) 0.2cm에서 최고(最高) 약 2cm까지 풍화대(風化帶)가 형성(形成)되어 있으며 풍화심도(風化深度)가 깊을수록 겉 부분은 떨어져 나간 경우가 많다.

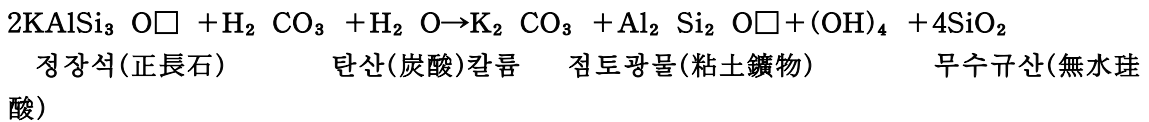
풍화대(風化帶)가 깊어지게 되면 석재(石材)의 표면(表面) 부근의 물성(物性)이 약(弱)해져 그 결과(結果) 새로이 생성(生成)된 절리(節理), 또는 후기(後期)의 외부(外部) 충격 등에 의하여 생성된 균열이나 틈 사이를 따라 내부(內部)에까지 풍화(風化)가 진행(進行)되고 있는 경우가 많다. 또한 이러한 틈을 중심(中心)으로 좌우(左右)로 심하게 풍화(風化)를 일으켜 최고(最高) 5cm까지 풍화대(風化帶)를 형성(形成)하고 있는 것을 관찰(觀察)할 수 있다(사진 1).

반상조직(斑狀組織)을 갖는 암석(岩石)은 반정(斑晶)이 석영(石英)으로 되어 있을 경우 기질(基質)의 광물(鑛物)들 보다 풍화(風化)저항도가 크므로 풍화도(風化度)의 차이(差異)에 의하여 표면(表面)이 요철상(凹凸狀)으로 되어 있는 경우도 있다. 이러한 현상은 반상조직(斑狀組織)을 갖는 석재(石材)에서 대부분 관찰(觀察)할 수 있다(사진 2). 풍화(風化)에 의하여 들출된 부분은 풍화(風化)가 진행됨에 따라 이차적(二次的)으로 떨어져 나가게 되어 계속적인 풍화(風化)를 촉진시키게 되는 결과를 가져오게 된다.

화성선리(火成線理)나 편상구조(片狀構造)를 가진 석재(石材)의 경우 이러한 방향성(方向性)을 따라 풍화(風化)가 선택적으로 심하게 진행되어 이 구조선(構造線)을 따라 떨어져 나가거나 양과겉질 모양으로 박리(剝離)되어 있는 경우가 대부분이다. 이러한 현상은 조립질(粗粒質), 화강암질성분(花崗岩質成分)을 갖는 암석(岩石)에서는 보통 나타나는 것으로 암석(岩石)의 표면(表面)을 둥근 모양으로 풍화(風化)시키는 중요(重要)한 요인

(要因)이 된다. 본조사(本調査)에서 관찰(觀察)된 석재(石材)들은 대부분이 이러한 풍화성질(風化性質)에 의하여 대체로 0.5~1.0cm에 달하는 부분이 떨어져 나간 것을 알 수 있었다.

석재(石材)의 풍화면(風化面)의 색(色)이 갈색(褐色)을 띄우거나 점토광물(粘土鑛物)이 겹면에 풍화물(風化物)로 형성(形成)되어 있는 경우가 있는데 이것을 조성광물(造成鑛物) 또는 화학성분면(化學成分面)에서 고찰(考察)하면 사장석(斜長石)이나 철(鐵)을 많이 함유(含有)하는 광물(鑛物) 즉 흑운모(黑雲母) 또는 자철석(磁鐵石) 내지 적철석(赤鐵石) 등(等)이 많이 함유(含有)되어 있는 경우이다. 장석(長石)은 풍화(風化)되면 점토광물(粘土鑛物)로 변하게 되며, 또 함철광물(含鐵鑛物)속의 철성분(鐵成分)은 광물(鑛物)이 풍화(風化)될 때 산화되어 광물(鑛物)로부터 유출(流出)되어 나와 적철석(赤鐵石)으로 재침전(再沈澱)된 결과(結果)로 암석(岩石)의 표면(表面)이 갈색(褐色)을 띄게 되는 것이다. 정장석(正長石)이 점토광물(粘土鑛物)로 변(變)하는 것은 다음의 반응식(反應式)에 의하여 진행(進行)된다. 진



상기(上記) 반응식(反應式)에서 반응생성물(反應生成物)인 탄산(炭酸)칼륨과 콜로이드상(狀)의 무수규산(無水珪酸)은 물에 녹아 씻겨 나가고 물에 녹지 않는 점토광물(粘土鑛物)만 남게 된다. 이렇게 하여 생성된 풍화물(風化物)이 석재(石材)와 석재(石材) 사이에 그대로 남아 있는 경우가 있으며 이는 언제나 습기를 제공하게 되어 접촉면(接觸面)에 더욱 심한 풍화(風化)를 야기시키는 결과(結果)를 가져오게 된다.

이러한 풍화(風化)가 계속 진행되면 석재(石材)의 표면(表面)을 이루는 광물(鑛物)들이 점차 떨어져 나가게 되며 이러한 현상이 계속되면서 풍화대(風化帶)는 점점 깊어져 가게 되는 것이다.

6-3. 인위적(人爲的) 및 생물학적(生物學的) 원인(原因)에 의한 풍화(風化)

상기(上記)한 자연적(自然的)인 풍화(風化) 외에 많은 석재(石材)들이 인위적(人爲的) 및 생물학적(生物學的) 원인(原因)에 의하여 풍화(風化)가 가중(加重)되어 부분적(部分的)으로 풍화도(風化度)가 심한 것이 관찰(觀察)된다. 인위적(人爲的) 원인(原因)중에 가장 흔한 것이 탑(塔)의 수평(水平)을 유지하기 위하여 탑신(塔身)과 옥개석 사이에 끼워 둔 받침쇠와 틈이나 떨어져 나간 부분(部分)을 접착시킬 때 사용되어진 시멘트에 의한 부분적(部分的) 풍화(風化)이다. 이는 주로 석재(石材)에 화학적(化學的) 풍화(風化)를 야기시키게 되며 자연적(自然的) 풍화(風化)를 더욱 촉진시킨 결과를 가져오게 한 것이다.

받침쇠는 오랜 시간이 지남에 따라 산화(酸化)되어 산화용액(酸化溶液)이 흘러내려 석재(石材)의 표면(表面)에 착색(着色)을 시키든가 또는 암석(岩石)을 이루는 광물(鑛物)들과 화학반응(化學反應)을 일으켜 풍화(風化)를 촉진시키는 것이다. 특히 받침쇠 밑에 있는 부분(部分)은 철(鐵)의 산화물(氧化物)에 의하여 진한 갈색(褐色)으로 착색(着色)되어 있거나 심하게 부식되어 있다.

접착제(接着劑)로 사용된 시멘트에 의한 영향은 시멘트가 풍화(風化)되면서 주성분(主成

分)인 CaCO_3 가 분해(分解)되면서 생성되는 CO_2 와 대기(大氣)의 H_2O 가 결합(結合)하여 H_2CO_3 를 생성시켜 이것이 암석(岩石)의 풍화(風化)를 가중(加重)시키고 촉진시키게 되는 것이다. 그것은 H_2CO_3 가 물에 용해되면서 $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ 로 분해(分解)되어 산성(酸性)을 띠게 되기 때문이다.

인위적(人爲的)인 것으로 생각되는 또 하나의 요인(要因)은 탑(塔)의 내부(內部)에 차 있는 토양(土壤)이다. 토양(土壤)은 많은 습기와 토양(土壤)의 부식으로 인하여 석재(石材)와의 접촉(接觸)부(部)에서 화학적(化學的) 풍화(風化)를 촉진시키게 된다. 지속적인 습기의 존재는 이끼류와 식물(植物)의 번식을 돕는 결과도 가져 온다. 대부분의 경우 탑(塔) 내부(內部)가 외부(外部)보다 더 풍화(風化)가 심하게 진행(進行)되어 있는 것은 이러한 원인(原因)에 의한 것으로 생각된다.

생물학적(生物學的)으로 중요(重要)한 것은 이끼류의 번식과 주위에 성장(成長)하고 있는 식물(植物)의 뿌리에 의한 영향이다. 일반적(一般的)으로 많은 이끼류의 번식으로 석재(石材)의 표면(表面)의 많은 부분이 덮여 있어 암색(暗色)을 띠고 있는 경우가 많다. 이끼류의 번식은 풍화(風化)를 더욱 촉진시키는 결과를 가져오며 이에 의하여 석재(石材)의 부식이 가중(加重)되게 되는 것이다.

6-4. 풍화(風化)에 의한 자연파손(自然破損)

석재(石材)가 오랜 세월에 걸쳐 심한 풍화(風化)를 받게 되면 광물(鑛物)의 결합력(結合力)이 약해지며 이것은 암석(岩石)의 물성(物性)이 약해지게 되고 따라서 압축강도(壓縮強度)를 낮게 하는 요인(要因)이 된다. 압축강도(壓縮強度)가 낮아지고 상부(上部)로부터의 지속적인 하중(荷重)에 의하여 최초(最初)에는 나타나지 않았던 절리(節理) 등이 나타나게 된다. 이렇게 하여 생성된 틈을 따라 석재(石材)의 내부(內部)에까지 풍화(風化)가 진행되어 틈 사이가 더욱 벌어지거나 심하면 모서리 부분등은 떨어져 나가게 된다. 이러한 현상은 암석(岩石)의 구조(構造)나 조직(組織)등에 의하여 영향을 받으며 심한 풍화(風化)에 의하여 일어난다. 이러한 현상들은 일반적(一般的)으로 석탑(石塔)의 상위부(上位部)보다 하위부(下位部) 특히 기단석(基壇石)이나 하부(下部) 탑신(塔身) 등(等)에서 잘 관찰(觀察)할 수 있었다. 이러한 부분적(部分的)인 석재(石材)의 물리적(物理的) 성질(性質)의 변화(變化)는 탑(塔) 자체(自體)의 전체적인 구조(構造)와 수평(水平)유지등에 영향을 미치게 되는 결과(結果)를 가져오게 된다.

7. 보존(保存)에 대(對)한 고찰(考察)

7-1. 풍화(風化)에 대(對)한 문제(問題)

일반적(一般的)으로 그 축조시기가 백제(百濟)-고려말(高麗末)에 이르는 관찰대상(觀察對象) 석탑(石塔)들은 그 시기(時期)가 오래되고 또 풍화(風化)에 대한 저항도가 낮은 화강암류(花崗岩類)를 석재(石材)로 사용(使用)한 결과(結果) 자연풍화(自然風化)에 의한 풍화도(風化度)가 심하고 풍화대(風化帶)도 대체로 0.5~1cm에 이르며 부분적(部分的)으로 최대(最大) 2cm에 이르고 있다. 틈이 발달(發達)되어 있는 경우에는 틈을 중심

(中心)으로 평균(平均) 2cm, 최대(最大) 5cm까지 풍화도(風化度)가 발달(發達)되어 있기도 한다.

상기(上記)한 전체적인 자연풍화(自然風化) 현상의(現象外)에 국부적(局部的)으로 석재(石材)의 부식현상이 일어나고 있다. 가장 대표적(代表的)인 것은 석탑(石塔)의 수평(水平)유지를 위하여 사용된 쇠받침, 시멘트접착제(接着劑), 표면(表面)에 번식하고 있는 이끼류, 석재(石材) 사이에 남아있는 풍화잔류물(風化殘留物), 그리고 석탑내부(石塔內部)에 채워져 있는 토양(土壤)등에 의한 것이다.

이러한 여러 요인(要因)에 의하여 석재(石材)의 풍화도(風化度)는 가속(加速)되고 있으며 풍화대(風化帶)도 외면(外面)은 외면(外面)대로 내부(內部)는 내부(內部)대로 심화(深化)되고 있다. 이러한 요인(要因)들에 대하여 지질학적(地質學的) 면(面)으로 볼 때 다음과 같이 고찰(考察) 할 수 있다.

자연풍화(自然風化)는 표면(表面)이 불규칙(不規則)할 때 가장 잘 일어나므로 외면(外面)을 평탄하게 할 필요(必要)가 있으나 이 경우 석탑(石塔)의 원래의 모습에 많은 변화(變化)를 가져오게 되며 그 다음에는 더욱 심한 풍화(風化)가 진행(進行)되며 풍화대(風化帶)의 깊이도 심화(深化)되는 결과(結果)를 가져오게 되므로 타당(妥當)한 방법(方法)이 아니라고 생각된다. 석탑(石塔)의 경우는 아니지만 풍화면(風化面)을 제거하기 위하여 징과 같은 것으로 석재(石材)의 외면(外面)을 쪼아 낸 것이 있다. 이러한 작업(作業)은 불규칙(不規則)한 표면(表面)의 형성(形成)과 작업시(作業時)의 충격에 의하여 풍화작용(風化作用)에 더욱 쉽게 영향을 받게 되어 풍화(風化)가 쉽게 진행될 것이며 풍화대(風化帶)도 더욱 깊은 곳까지 짧은 시간내(時間內)에 형성(形成)될 것으로 예상된다. 따라서 자연풍화(自然風化)에 대하여는 현재(現在)의 상태(狀態)를 그대로 유지하고 외적(外的)인 요소(要素) 즉 습기의 제거등을 고려해야 할 것으로 생각된다.

수평유지를 위하여 사용(使用)된 쇠받침은 앞에서 설명(說明)한대로 산화(酸化)에 의하여 접촉(接觸)하고 있는 부분(部分)의 석재(石材)에 착색(着色)을 시키거나 풍화(風化)를 촉진시키는 결과(結果)를 가져오게 되므로 이를 제거하는 것이 바람직하며 그 시기(時期)는 빠를수록 좋다고 생각된다. 수평유지를 위하여 받침이 필요하다면 강도(強度) 등(等)을 고려하여 고압(高壓)프라스틱제품을 고려해 볼 수 있을 것으로 생각된다.

풍화잔류물(風化殘留物)을 제거하는 것이 좋을 것이며 석탑(石塔) 내부(內部)에 채워져 있는 토양(土壤)을 제거하고 내부(內部)의 습기를 방지하기 위하여 제습제를 넣어 두고 통풍(通風)이 잘 되도록 하는 것이 좋을 것으로 생각된다. 제습제는 일정(一定)한 기간에 걸쳐 교체하는 것이 바람직하다. 이끼류는 가능한 한 제거하되 이의 작업(作業)을 위하여 옥개석등의 위에 사람이 올라가서 작업(作業)을 하는 일은 없어야 하겠다. 심한 풍화작용(風化作用)과 충격등에 의하여 탑(塔)의 구조적(構造的) 균형(均衡)이 매우 약화되어 있을 것으로 판단(判斷)되므로 작업(作業)으로 인한 부분적(部分的)인 하중(荷重)의 차이(差異)와 충격은 탑(塔)의 전체적인 균형(均衡)에 영향을 미치게 되며 이로 인하여 구조적(構造的) 불균형(不均衡)을 야기시키게 되기 때문이다.

7-2. 위치(位置)에 관(關)한 문제(問題)

석탑(石塔)의 보존(保存)에 있어서 그 지형적(地形的)인 위치(位置)가 장기적(長期的)인 보존(保存)에 있어 큰 영향을 미치는 요인(要因)이 된다. 첫째 지형적(地形的)으로 구릉

(丘陵)의 가장자리에 위치(位置)하고 있는 경우와 들째로 교통량이 많은 부근에 위치(位置)하고 있는 경우로 나누어 생각할 수 있다.

지형적(地形的)인 위치문제(位置問題)에 있어서 산록(山麓)이나 구릉(丘陵)의 가장자리 부근에 자리하고 있는 경우이다. 산록(山麓)이나 낮은 구릉지대(丘陵地帶)는 심한 풍화작용(風化作用)에 의하여 기반암(基盤岩)은 거의 발견(發見)할 수가 없으며 풍화토(風化土)가 깊게 형성(形成)되어 있는 것이 보통이다. 이러한 지역(地域)의 경우 풍화토(風化土)가 경사(傾斜)를 이루고 있는 부분(部分)은 중력(重力)에 의하여 서서히 낮은 곳으로 토양지반(土壤地盤)이 이동(移動)하는 포행현상(creep)을 나타낸다. 이러한 포행현상은 가장자리에 위치(位置)하고 있는 석탑(石塔)의 하중(荷重)에 의하여 가속(加速)되는 결과(結果)를 가져오게 된다. 이러한 포행현상은 석탑(石塔)의 구조적(構造的) 균형(均衡)에 커다란 영향을 미치게 되며 도괴의 결과를 가져 올 수도 있다. 특히 여름철의 홍수 때에 물을 많이 흡수한 토양지반(土壤地盤)은 그 유동성(流動性)이 증가하게 되어 그 이동(移動)의 속도나 시기를 추정(推定)하기는 매우 어렵다. 따라서 이러한 위치(位置)에 있는 석탑(石塔)들을 평탄한 곳으로 이전(移轉)시키는 것이 바람직하며 이것이 용이치 않은 것은 지반(地盤)의 안정성(安定性)을 높이기 위한 지반(地盤) 구축작업이 필요하다.

다음으로 지역적(地域的)인 위치(位置)로 볼 때 도로(道路)변(邊)에 위치(位置)하고 있는 경우이다. 이러한 경우에는 차량의 통행에 의한 지반(地盤)의 진동에 의하여 탑(塔)의 구조적(構造的) 균형(均衡)에 큰 영향을 미칠 우려가 있다. 따라서 이러한 경우 진동에 의한 방지를 위하여 주변 지역에 대한 진동을 완충시켜 주기 위한 지반구축이 필요하며 차량의 운행관계도 아울러 조절하는 방법도 병행하여야 할 것으로 생각된다. 이러한 경우를 많이 고려해야 할 것으로 판단(判斷)되는 것으로는 정림사지오층석탑(定林寺址五層石塔)을 예(例)로 들 수 있다.

그의 평탄한 지역이지만 저지대에 위치(位置)하고 있는 경우 여름철과 같은 계절에는 기단부(基壇部)가 물속에 잠기거나 심한 습기속에 빠지게 되는 결과를 가져오는 경우가 있다. 이러한 위치(位置)에 있는 석탑(石塔)들은 주위에 배수로를 개설하고 자갈이나 모래와 같은 투수성이 높은 물질들로 주위 지반 작업을 하는 것이 바람직하다고 생각된다.

경복궁내(景福宮內)에 보존(保存)되어 있는 석탑(石塔)들은 이러한 문제(問題)들에 대해서는 비교적 좋은 조건하(條件下)에 있지만 주위의 잔디 제거 작업을 하는 과정에 깎여져 나간 잔디의 찌꺼기들이 기단석(基壇石)의 하부(下部)에 붙어 있는 경우를 많이 관찰(觀察)할 수 있었다. 이것은 앞에서 설명(說明)한 생물학적(生物學的)인 영향등을 고려해 보면 이들의 제거와 앞으로 잔디작업에 있어서 고려해야 할 문제(問題)라고 생각된다.

8. 결론(結言)

석탑(石塔)들의 석재(石材)는 거의 대부분이 화강암류(花崗岩類)를 석재(石材)로 사용(使用)하였으며 이들은 대체로 자연풍화(自然風化)에 약하여 0.5~1cm의 풍화대(風化帶)를 형성(形成)하고 있는 것이 보통이며 때에 따라 최대(最大) 2cm 깊이까지 풍화대(風化

帶)가 발달(發達)하기도 한다. 석재(石材)는 대체로 한 종류(種類)의 암종(岩種)을 사용하였으나 상이(相異)한 암종(岩種)도 섞여 있는 것이 관찰(觀察)되나 이들은 후기(後期)의 보수시(補修時)에 사용(使用)된 것으로 판단(判斷)된다. 석재(石材)의 공급지(供給地)는 충남일원(忠南一圓)의 경우 대체로 2~3km이내에 위치(位置)한다.

일반적(一般的)으로 심한 풍화작용(風化作用)에 의하여 박리작용(剝離作用)이나 양과겉질 모양의 풍화현상(風化現象)을 나타낸다. 자연풍화(自然風化)에 더하여 쇠파침이나 시멘트접착제(接着劑)등에 의하여 부분적(部分的)으로 화학적(化學的) 풍화(風化)가 가중(加重)되어 있는 경우가 많다. 이끼류에 의한 생물학적(生物學的) 풍화(風化)가 국부적(局部的)으로 심하며 석탑내부(石塔內部)에 충전되어 있는 토양(土壤)에 의한 습기 및 화학적(化學的) 영향에 의해서도 풍화(風化)가 촉진되고 가중(加重)되고 있다.

평탄한 곳에 있는 것은 지반(地盤)구축작업과 배수로 설치가 바람직하며 도로변에 위치한 것은 차량통행에 의한 진동의 영향을 줄일 수 있는 주변의 지반구축 작업이 절실히 필요하다고 생각한다.

상기(上記)한 여러 지질학적(地質學的)인 현상(現象)은 석탑(石塔)의 보존(保存)에 중요(重要)한 요소(要素)이며 이에 대한 과학적(科學的)인 고려가 취해져야 할 것으로 생각된다. 즉

- ① 균형유지를 위하여 사용된 쇠파침은 제거하고 고압(高壓)플라스틱제품과 같은 것으로 대체할 수 있으며 좋겠으며,
- ② 시멘트접착제(接着劑)는 제거하고 보다 화학반응력(化學反應力)이 약한 다른 것을 사용(使用)할 것이며,
- ③ 현재 생성되어 있는 틈을 접착제(接着劑)로 충전시켜 내부(內部)에까지 풍화(風化)가 진행(進行)되는 것은 방지하도록 해야 할 것이며,
- ④ 이끼류는 가능한 한 석탑(石塔)에 물리적(物理的)인 영향을 끼치지 않고 제거할 것이며(제초제와 같은 화학약품은 사용하지 않는 것이 좋음),
- ⑤ 석재(石材) 사이에 남아있는 풍화잔류물(風化殘留物)을 제거,
- ⑥ 석탑내부(石塔內部)의 토양(土壤)을 제거하고 제습제를 넣어 습기를 방지하여 화학적(化學的) 풍화(風化)와 이끼류의 번식에 의한 생물학적(生物學的) 풍화(風化)를 최소(最少)로 하도록 할 것,
- ⑦ 산록(山麓)이나 구릉(丘陵)의 가장자리에 위치(位置)하고 있는 것은 이전(移轉)하거나 주위의 토양지반구축을 하여 creep운동(運動)이나 산사태(山沙汰)에 의한 도괴의 위험성을 없애고,
- ⑧ 석탑(石塔)부위에 배수로를 개설하고 일정(一定)한 구역내(區域內)에는 자갈이나 모래와 같은 누수성이 큰 물질로 충전하여 습기나 풍화작용(風化作用)의 영향을 최소로 하는 것이 바람직하다고 생각된다.

參考文獻

- ◎ 김봉균손석진, 1963, 舒川地質圖幅說明書 1 : 50,000, 16p, 國立地質調查所.
- ◎ 김형식임병조정명현, 1978, 花崗岩質岩類의 壓縮強度와 그 粒度 및 鑛物成分과의 關係에 關한 研究, 大韓地質學會誌, v.14, no.4, p.175~185.
- ◎ 資源開發研究所, 1973, 1 : 250,000, 大田 및 瑞山圖幅地質圖.

- ◎ 장태우황재하, 1980, 1 : 50,000, 論山地質圖幅說明書, 37p, 資源開發研究所.
- ◎ 정창희고석진, 1963, 1 : 50,000, 咸悅地質圖幅說明書, 37p, 國立地質調查所.
- ◎ 한국과학기술연구소, 1970, 다보탑의 과학적보존에 관한 연구, 122p.



사진 1. 틸을 따라 풍화(風化)가 심하게 일어나 풍화대(風化帶)의 폭(幅)이 더욱 넓어진 현상(무량사오층석탑(無量寺五層石塔) 일층탑신(一層塔身)의 북쪽면)

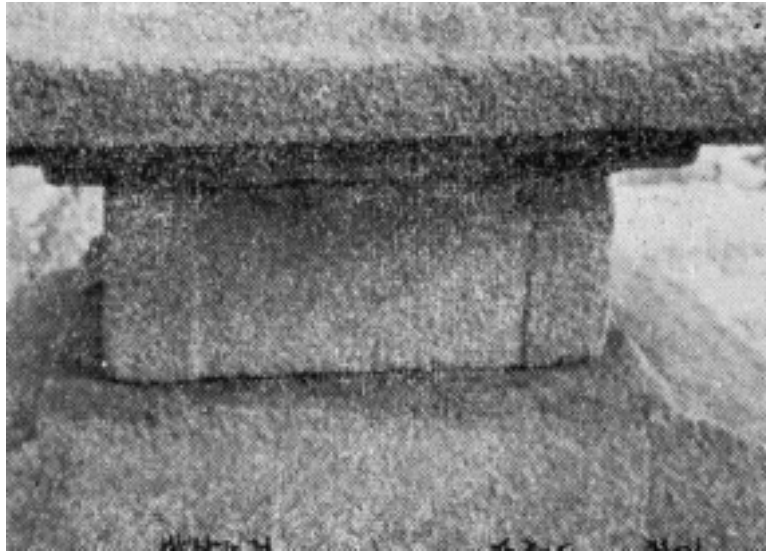


사진2. 반상조직(班狀組織)을 갖는 경우 풍화도(風化度)의 차이(差異)에 의하여 표면(表面)이 요철상(凹凸狀)을 나타냄(지현리삼층석탑(芝峴里三層石塔))



사진 3. 편상구조(片狀構造)를 따라 풍화(風化)에 의하여 박리(剝離)되어있는현상(現象)



사진4. 탑신과 기단석사이에 심한 풍화(風化)가 진행(進行)되어 떨어져나가고 검게 변하여 있는 현상



사진 5. 풍화에 의하여 표면이 떨어져나갔으며 석재 사이의 습기에 의하여 부분적으로 심하게 풍화되어 있는 현상과 석재 사이의 틈에 잡초가 번식하여 풍화를 촉진시키는 현상.

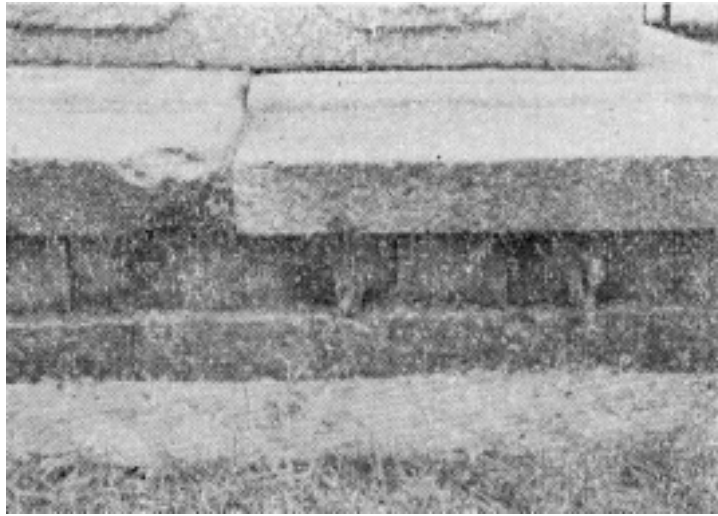


사진 6. 탑 주위의 잔디 제초시에 튕겨 나온 것이 석재에 붙어 풍화를 촉진시키며 외관이 깨끗하지 못한 현상.