

어선기관의 고장진단과 대책 (V)

한국어선협회 검사관리부
주임검사원 강 대 선

(제35호에서 계속)

제 4 장 크랭크축계(系)

크랭크축(Crank軸)은 주베어링(Main Bearing)에 지지(支持)되어 있는 주축부(主軸部: Journal)와 연결봉에 연결된 크랭크 핀(Crank Pin) 및 이들을 서로 이어주는 크랭크 암(Crank Arm)으로 되어 있다. 크랭크축은 추진축(推進軸)에 동력(動力)을 전달하는 외에 어선에서는 반대축에서 유압기계(油壓機械), 발전기 등을 구동하기도 한다. 또한, 소형기관에서는 윤활유, 냉각수, 빌지펌프류를 구동하고 캠축(Cam軸)과 조속기(調速機) 등이 크랭크축에 연결되어 작동된다. 이와 같이 크랭크축은 기관의 중추적(中樞的)인 역할을 담당하는 중요한 부품(部品)으로서 이것에 이상이 있으면 견잡을 수 없는 사고(事故)가 발생되기 쉽다. 운전중 기관은 플라이 휠(Fly Wheel)과 조속기(Governor) 등에 의하여 균일한 회전상태를 보지(保持)하도록 되어 있지만, 실제로는 각 행정(行程)을 통하여 순간적인 회전속도의 변화가 발생하므로 회전력(回轉力)은 항상 일정하지 않다. 그러므로 크랭크축은 변화하는 회전력에 따라 반복(反復)되는 굴곡과 비틀림의 복잡한 힘을 받게 되기 때문에 강한 재료로 만들지 않으면 안된다. 크랭크축의 재료로는 일반적으로 단강재(鍛鋼材)가 사용되는데, 특별한 경우에는 니켈강(Nickel Steel), 니켈 몰리브덴강

(Nickel Molybdenum Steel)과 같은 특수재료가 사용되기도 한다. 고속기관에서는 축부(軸部)를 고주파열처리(高周波熱處理)하여 연마사상(研摩仕上)을 하며, 중속기관에서는 소입(燒入: Quenching)을 행하는 것과 그렇지 않는 것이 있는데, 어느 것이라도 회전속도에 지장을 받지 않도록 양호한 면(面)으로 사상(仕上)하여야 한다. 크랭크축의 사상이 불량하면 각 베어링의 과열(過熱)을 초래하게 된다. 구조상(構造上) 크랭크축은 소형 및 중형기관에서는 일체형(一體形), 대형기관에서는 핀(Pin)과 암(Arm)을 일체로 하고 주축(主軸: Journal)을 암에 열박음하는 반조립형(半組立形), 차례대로 핀·암·주축을 별개(別個)로 하여 열박음하는 조립형(組立形)이 있다. 또한, 고회전(高回轉) 기관에서는 원심력(遠心力)에 따른 베어링 하중(荷重)의 증가를 완화하고, 충분한 평형상태를 유지하도록 유쾌한 진동을 방지하기 위하여 크랭크축의 암부(Arm部)에 평형추(平衡錘: Balance Weight)를 붙이는데, 이 취부볼트의 록 와셔(Lock Washer)를 완전하게 절곡(折曲)하지 않으면 운전중에 이완(弛緩)되어 사고의 원인이 된다.

가) 크랭크축의 절손(折損)

기관의 고장중 최악(最惡)의 것이 크랭크축의 절손이다. 크랭크축의 절손 원인으로서는 설계상의 강도부족(強度不足: 치수의 부족), 단조불량(鍛造不良), 사용재료의 조악(組惡), 공작의 부

적당(특히, 축의 Root부), 비틀림진동, 굴곡진동(屈曲振動) 등 제작당시(製作當時)의 착오(錯誤)가 많지만, 여기서는 주로 취급상(取扱上)의 문제만을 다루기로 한다.

주베어링의 마모(摩耗)에 있어서 그 어느 한 쪽이 특별히 많이 마모하게 되면 그곳만 크랭크축이 부양(浮揚)하게 되어 폭발압력(爆發壓力)이 작용하는 순간에 힘(크랭크 암의 개폐량)이 커지게 된다. 기관의 설계계획상(設計計劃上) 크랭크축의 설계는 주로 축베어링간의 거리에 의한 폭발압력에 따라 이루어지므로 크랭크축이 부양(浮揚)하여 베어링이 없는 것과 같은 상태로 운전되면 강도부족(強度不足)으로 크랭크축은 절손(折損)된다. 그림 4-1은 피로파괴(疲勞破壞)에 의한 크랭크축의 절손상태를 보여 준다. 주베어링은 특히 하부메탈(下部Metal)의 마모에 주의하고, 베드(Bed)와 크랭크 축심(軸心)의 어긋남이 없도록 유념하여야 한다. 항상 필요시에는 윤활유를 공급할 수 있도록 하여 과열(過熱)을 절대로 일으키지 않도록 해야 하며, 시동전(始動前)에는 윤활유량을 확인하여 공급하는 것을 잊지 말아야 한다.

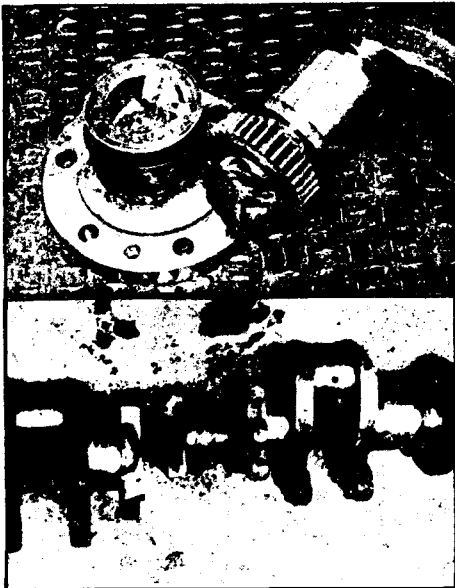


그림 4-1. 크랭크축의 절손

축중심(軸中心)의 어긋남은 목선(木船)의 경우 적하(積荷)의 상태 등에 따라 크게 변화하는데, 축의 힘은 계속으로는 큰 수치가 나오더라도 눈으로는 알 수가 없으므로 필히 계측해 볼 필요가 있다. 힘이 크게 되면 운전중에 플라이휠이 흔들리는 것을 발견할 수 있는데, 플라이휠의 외경측면(外徑側面)과 취부면(取付面)이 직각으로 가공(加工)되지 아니한 것도 이 흔들림으로서 알 수가 있으며, 플라이휠의 흔들림이 발생하면 곧 그 원인을 찾아 수정(修正)해야 할 필요가 있다.

어선에서는 플라이휠에 풀리(Pulley)를 달아 기관의 동력(動力)을 타기기(他機器)에 이용하는 경우가 많은데, 이 경우 풀리의 무게와 벨트(Belt)의 장력(張力)에 의한 크랭크축의 힘을 방지하기 위하여 풀리의 앞쪽에도 축을 달아 베어링을 설치하는 것이 대부분이다. 베어링을 설치하지 않거나 작업(作業)에 지장을 준다하여 설치된 베어링을 떼어내게 되면 힘이 커지고 회전에 따른 굴곡응력(屈曲應力)이 크랭크축, 특히 암(Arm)에 가하여져 절손의 원인이 되므로 주의 를 요한다. 베어링을 설치할 때에도 풀리 앞쪽의 베어링을 조금 높게 하여 운전 중 크랭크암 개폐량(開閉量)이 거의 없도록 조정(調整)한다. 이것은 보조기관(補助機關)에 발전기를 설치하는 경우에도 동일하게 적용된다.

크랭크축의 수평방향(水平方向)의 힘(개폐량) 계측에 있어서는 그림 4-2와 같이 크랭크축이 베드(Bed)상에 있을 때 먼저 크랭크축을 피스톤 상사점(上死點)의 위치에 놓고 양쪽 암의 내측 거리(內側距離)를 마이크로미터(Micrometer)로

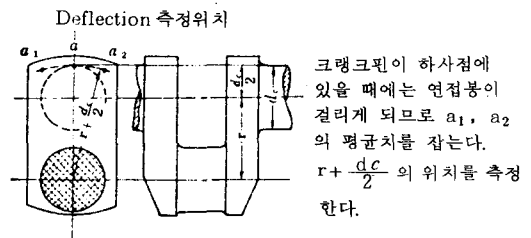


그림 4-2. 크랭크암 개폐량 측정

젠 다음 크랭크축을 회전하여 하사점(下死點)의 위치로 이동하여 계측한다. 만일, 상사점과 하사점에서의 양암(兩Arm) 내측간(內側間)의 거리에 차이가 있을 때에는 크랭크축 또는 연장축(延長軸)의 베어링 어딘가에 이상(異常)이 있는 것으로 보아도 좋다. 특히, 플라이휠측(Fly Wheel 側)의 제 1 크랭크암에 대하여는 자주 점검(點檢)할 필요가 있다.

그림 4-3은 크랭크암의 각 허용한도(許容限度)를 나타낸 것인데, 일반적으로 수정권도한도(修正勸告限度)는 $\leq \frac{2}{10,000} s$, 수정강요한도(修正強要限度)는 $\leq \frac{3}{10,000} s$ (단, s는 stroke: mm)를 기준으로 한다.

기타, 선체구조(船體構造)가 약하고 기관대(機關臺)의 강도가 부족하면 거치시(据置時)에는 중심선(中心線)이 정확하더라도 언젠가는 축심(軸心)에 이상이 생기게 되며, 더욱 선체자체(船體自體)가 약할 때에는 파랑중(波浪中)의 함해에서 선체전체의 휨이 커지게 되므로 크랭크축에 무리를 주게 되어 결국 어느 것이라도 크랭크축 절손의 원인이 된다. 이와 같은 결함(缺陷)은 크랭크축의 조정(調整)을 되풀이 하더라도 같은 결과가 초래되므로 보다 근본적인 원인(선체 또는 기관대)을 제거(除去)하여야 할 것이다.

크랭크축 절손의 예방조치(豫防措置)로서 분해(分解)시의 점검을 엄중히 할 필요가 있다. 분

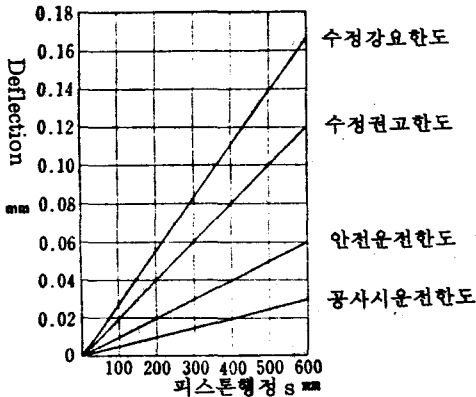


그림 4-3. 크랭크암 개폭량의 허용한도

해전에 미리 크랭크암 디플렉션(Deflection: 개폭량)을 계측하여 그 전의 것과 비교(比較)하여 축심의 변화를 확인하고, 분해점검시에는 균열(龜裂)·변형(變形) 등 이상유무(異常有無)를 정밀하게 조사하여야 하며, 조립(組立)시에는 크랭크암 디플렉션을 계측하여 축심을 조정해 가면서 복구하도록 한다.

기관에 따라서는 특히 진동(振動)이 증가하는 회전속도(위험회전수: 회전계에 표시되어 있음)를 가진 기관이 있는데, 이런 기관에서는 이 위험회전속도 범위내(範圍內)에서 장시간 운전하면 크랭크축·중간축·프로펠러축의 절손을 초래하는 수가 있으므로 가능한한 이곳에서의 운전을 피하도록 한다. 또, 이 위험회전속도가 상용회전속도(常用回轉速度) 범위내에 들지 않도록 설계(設計)된 기관일지라도 거치(据置)의 상태와 기관의 동력을 타기계(他機械)에 이용하는 등의 변화에 따라 이 위험회전속도의 범위도 변경되므로 시운전(試運轉)시에는 각 회전수에서의 진동상태(振動狀態)를 면밀히 검토하고 진동이 많은 회전수를 회전계(回轉計)에 표시하여 이후의 운전시에 참고토록 하는 것이 긴급(緊要)하다.

나) 주베어링의 손모(損耗)

주베어링(Main Bearing)의 이상(異常)에는 메탈(Metal)의 균열(龜裂), 부식(腐食), 소손(燒損), 마모(摩耗) 등이 있으며, 윤활유의 관리상황(管理狀況)과도 밀접한 관계가 있다.

주베어링의 균열과 소손의 초기(初期)에 일어나는 발열(發熱)의 원인으로는 베어링 크라운(Bearing Crown) 취부너트(取付 Nut)의 편조임(片締結), 라이너의 조정불량에 의한 간극(間隙: Clearance)의 부적당(不適當), 주유계통(注油系統)의 막힘에 의한 윤활유의 부족, 윤활유의 오손(汚損)과 불순물(不純物)의 혼입(混入)에 의한 윤활불량(潤滑不良), 기름흙 가장자리의 가공부(加工部)가 손상되어 누출(漏出)이 과다해 지므로 인한 윤활유의 압력저하(壓力低下), 램핑불량(Lapping 不良), 스러스트 베어링(Thrust Bearing)의 마모에 의한 크랭크축과 주베어링 끝

단의 접촉(接觸), 취부불량에 의한 크랭크축 중심선의 어긋남, 과부하운전(過負荷運轉), 노킹(Knocking)에 의한 베어링의 하중증대(荷重增大) 등이 있다. 또한, 균열은 설계상 압금(押金:Ke-ep)의 강도부족이나 압금의 표면불량에 의하여도 되풀이 하여 발생된다.

메탈의 수리교체(修理交替)시에 있어서 납(鉛)의 함유량(含有量)이 많다든지, 불순물(不純物)이 혼입되었다든지, 주입방법(鑄込方法)이 불량하다든지 하면 압금과의 밀착(密着)의 불량하게 되거나 주소(鑄巢: 주물에 생기는 기포)와 표면 균열(表面龜裂)이 일어나기 쉽다.

주베어링이 발열(發熱)했다고 생각될 때에는 기관의 회전수를 감하고, 윤활유 압력을 높여 다량의 윤활유를 공급하여 발열부를 냉각(冷却)시킬 필요가 있다. 발열하였다고 하여 기관을 급하게 정지시키면 메탈이 크랭크축에 소착(燒着)하는 수가 있으므로 침착하게 서서히 회전을 낮추어 냉각시킨 후에 기관을 정지하도록 한다.

주베어링 메탈과 크랭크축과의 간극(間隙: Clearance)은 신조시(新造時) $1/1,000D$ (D : 직경mm)를 표준(標準)으로 하지만, 점차로 마모하여 주베어링의 중심선(中心線)은 어긋나게 된다. 그러므로 메탈의 마모에는 충분한 감시(監視)가 필요하다. 마모의 계측에는 베어링 크라운(Bearing Crown)을 떼어 내고 브리지 게이지(Bridge Gauge)를 걸쳐서 크랭크축과의 간극을 간극게이지(間隙Gauge)로 기록하고, 종래 계측한 기록과 대조하여 크랭크축의 하강도(下降度: 낮아진 정도)를 알아내어 교체시기(交替時期)를 결정하는데 참고한다. 또 메탈의 마모정도(摩耗程度)는 전술(前述)한 크랭크암 개폐량의 계측치(計測值)로부터 판단할 수도 있다. 그림 4-4는 브리지 게이지로서 마모량을 계측하는 상태를 나타낸 것이다.

메탈이 녹게 된 때 또는 마모가 잦은 때에는 랩핑(Lapping)한 후 하부메탈(下部Metal)의 밑에 라이너(Liner)를 넣어 중심을 올려 조정하는 수가 있는데, 이것은 응급처치(應急處置)의 방법일 뿐으로 사후(事後)에는 필히 완전하게 수

리하도록 해야 한다.

저속기관의 베어링메탈 간극의 조정에 있어서는 연선취부법(鉛線取付法)에 따라 표준간극(標準間隙)과 비교하여 라이너를 조절(調節)한다. 또, 같지 않은 것이 있으면 랩핑에 따라 점검해가면서 메탈내면(Metal 內面)을 스크레이퍼(Scraper)로 삭정(削整)한다. 랩핑조정 후에는 메탈내면을 깨끗이 소제하고 윤활유를 충분히 도포(塗包)하여 복구한다.

다) 스러스트 베어링의 마모(摩耗)

스러스트 베어링(Thrust Bearing)의 메탈손모(Metal 損耗)의 주원인은 주유량(注油量)의 부족에 의한 발열(發熱)에 기인한 것이다. 메탈이 마모되면 기관 각부에 받는 영향이 커지는데, 메탈마모에 의하여 크랭크축이 선수방향(船首方向)으로 밀리게 되면 연접봉(連接棒)의 중심선이 어긋나 피스톤은 경사운전(傾斜運轉)을 일으키게 되고, 피스톤핀·크랭크핀이 발열하며, 또 실린더와 피스톤의 절삭(切削)을 초래하게 된다. 더욱 마모가 심하여지면 크랭크핀 메탈과 주베어링 메탈의 측면(側面)이 크랭크암에 접촉(接觸)되어 발열손상(發熱損傷) 된다. 또한, 크랭크암의 개폐작용(開閉作用)을 일으키게 하여 크랭크축 절손의 간접적인 원인이 된다. 뿐만 아니라 크랭크축에 의하여 구동(驅動)되는 냉각수펌프 빌지펌프 등의 중심선이 어긋나게 되어 플런저(Plunger) 기어가 마모되고 편심외륜(偏心外輪)에 손상을 초래하기도 한다. 따라서 스러스트 베어링의 메탈마모의 주원인이 되는 주유량 부족이 생기지 않도록 세심한 주의를 기울여야 하며,

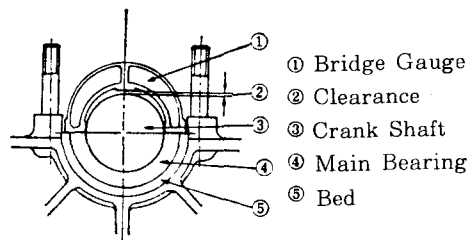


그림 4-4. 브리지 게이지

운전 중에는 항상 발열유무(發熱有無)를 확인하여 조치하여야 할 것이다.

라) 플라이휠의 손상(損傷)

플라이휠(Fly Wheel)의 파손(破損)은 좀처럼 없지만, 만일 발생되면 대사고(大事故)를 일으킨다. 플라이휠의 취부에는 테이퍼(Taper) 식과 플랜지(Flange)식이 있는데, 테이퍼식은 테이퍼부(Taper 部)에서 취부키(取付Key)에 의하여 위치를 결정 고정(固定)한다. 취부시에 테이퍼부와 키가 잘 맞지 않든가 너트의 조임이 불충분하면 키가 이완(弛緩)하여 키홈(Key Groove)에 반복하여 힘이 걸리게 되므로 키 및 키홈의 접촉부(接觸部)는 피로를 일으켜 변형(變形)되고, 플라이휠의 키홈부로부터 균열(龜裂)을 일으키게 되며, 플라이휠 파손의 원인이 된다. 따라서 플라이휠을 취부할 경우에는 합마크(合Mark)까지 충분히 조이는 것이 필요하다.

플랜지식의 경우에는 취부구멍을 리머사상(Reamer 仕上)으로 하여 리머볼트(Reamer Bolt)를 사용하고 있으므로 취부구멍과 볼트의 번호를 맞추어 충분히 조이는 것이 필요하다.

또한, 제한회전수(制限回轉數) 이상으로 함부로 기판을 회전시키면 설계상의 강도를 넘는 원심력(遠心力)이 발생하여 플라이휠이 파손되는 수가 있으므로 필요이상의 회전수로 기판을 운전하는 것은 피하여야 한다.

마) 축의 진동(振動)

일반적으로 탄성(彈性)이 있는 강제축(鋼製軸)을 비틀거나 굴곡(屈曲)시키면 그 재질(材質), 형상(形狀), 크기 및 축계상(軸系上)에 배치된 중량물(피스톤·연접봉·크랭크암·크랭크핀·플라이휠·프로펠러 등)에 의하여 그 축계 고유(固有)의 주기(周期)로 진동하는 성질이 있는데, 이것을 고유진동(固有振動)이라 한다. 또한, 디젤기관과 같이 실린더내의 폭발에 의하여 크랭크축에 주기적(周期的)으로 변화하는 회전력(回轉力)을 주는 축은 그 회전력의 주기(周期)로서 진동한다. 이와 같이 외부로부터 반복되는 힘을 받게 되

어 진동을 일으키는 것을 강제진동(強制振動)이라 한다. 기판이 어느 속도로 회전할 때 고유진동과 강제진동의 주기(周期)가 일치(一致)하면 진폭(振幅)은 매우 커지게 된다. 이것을 공진(共振)이라 한다.

비틀림진동으로 공진하면 축계는 크게 비틀려 동요(動搖)하여 축에는 큰 응력(應力)이 발생한다. 때로는 전부하(全負荷)시의 수직배의 토크(Torque; 회전우력)가 작용하는 수도 있는데, 크랭크축 혹은 중간축, 프로펠러축의 절손(折損)을 일으키든지 나아가서는 큰 사고를 초래하게 되든지 한다. 또 치차감속기관(齒車減速機關)에서는 진폭이 커지면 기어(Gear)의 치열(齒)이 부딪치어 치면(齒面)의 손상, 절손 등 사고의 원인이 된다.

이와 같이 기판에 비틀림진동의 공진이 일어나는 회전속도를 위험회전속도(危險回轉速度)라 한다. 상용(常用)하는 회전속도내에 위험회전속도가 들어오면 위험하게 되므로 메이커(Maker)에서는 중간축, 프로펠러축의 굵기와 플라이휠의 크기 등을 변경하여 고유진동을 바꾸어 상용회전속도 범위내에 위험회전속도가 들지 않도록 한다. 축을 굵게 하면 고유진동수는 크게 되고, 또 플라이휠을 크게 하면 역시 고유진동수는 커

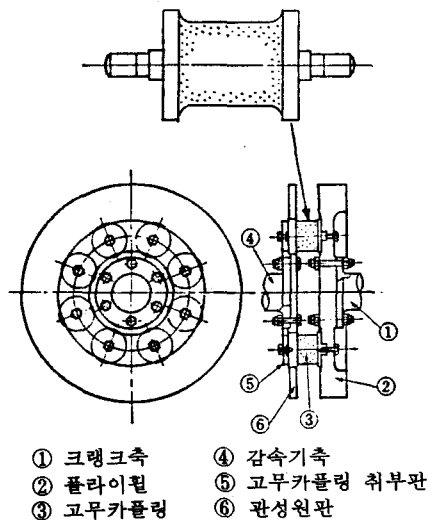


그림 4-5. 고무카플링

지게 된다.

치차감속기관에서는 회전수가 높기 때문에 위험한 비틀림진동이 사용회전속도 범위내에서 발생하기 쉬우므로 고무(Rubber)나 유체카플링(流體Coupling) 등의 탄성카플링(彈性Coupling)을 사용하여 토오크의 변동을 적게 하여 기어를 보호한다. 중·소형기관에서는 낮은 제작비(製作費)로 간단한 고무카플링(Rubber Coupling : 그림 4-5는 그 일례를 나타낸 것임)을 이용하며, 대형기관에서는 주로 유체카플링이 이용된다.

고무카플링은 고장을 일으키기 전에 교환시기(交換時期)를 정하여 교환해야 하며, 외견상(外見上) 균열이 생긴 다든지, 변형한다든지, 표면(表面)이 끈적끈적 해 진다든지 할 경우에는 즉시로 교환해 주지 않으면 안된다. 유체카플링은 충격(衝擊)이 없는 점은 이상적(理想的)이지만, 장소(場所)가 더 들고 고가(高價)이다.

기관을 배에 장비(裝備)해서 해상공시운전(海上公試運轉)을 할 때에는 변경된 비틀림진동을

실측(實測)해서 위험회전속도 범위를 확인한 후 이것이 상용회전범위내에 있을 때에는 위험회전수에서의 계속사용을 피하도록 회전계(回轉計)의 그 회전범위에 적색(赤色)의 마크(Mark)를 해두는 것을 잊지 않도록 한다. 따라서 차후(次後)로는 적색마크의 회전속도 범위내에서 운전하는 것을 피하고, 회전을 증감(增減)하는 경우에도 그 회전속도 범위내에서 운전하는 시간을 될 수 있는 대로 단축(短縮)하도록 최선을 다해야 한다.

그러나, 장기간(長期間) 사용하게 되면 메탈의 마모에 따라 크랭크암 개폐량의 증가라든가, 거치(据置)시의 축심(軸心)의 어긋남, 선체의 변형(變形) 등 타(他)의 제원인(諸原因)이 복합적으로 작용하게 되므로 반드시 비틀림진동의 원인에만 관계하여 사고를 점칠 수는 없는 것이다. 요는 배의 모든 상태를 종합적(綜合的)으로 판단할 수 있는 이론(理論)과 경험(經驗)의 지혜(知慧)가 필요한 것이다.

손길마다 자연보호

발길마다 금수강산