

潮力發電技術開發動向

A State of the Art Study of Tidal Power Technology Development

송인오*

1. 緒論

한국해양연구소는 1973년 설립이래 서해안 조력발전 사업을 계속 해 왔다. 본 논문에서는 최근 조력발전사업의 해외동향, 특히 Rance 발전소 가동 실적, 영국의 Severn, Mersey강 하구 조력발전 타당성 검토사업 결과를 근간으로 하여 그간 이룩된 각종 기술의 개발 동향을 소개한다.

2. 本論

국내에서의 조력발전소 건설 타당성 검토는 1920년대 후반 부터 시작되었다. 검토 대상 지점은 경기도 강화군 남서쪽 동검도 일대의 해역이었으며 강화도 외측 조력발전 개발안이 처음으로 제안되었다. 그러나 이 사업은 초기 검토 단계로 끝났다. 현재까지 알려진 것은 거의 없으며, 경기만 일대에 상당한 부존량만을 확인하였다.

그후 1950년대 후반부터 경기만, 천수만 일대를 대상으로 조력지점 답사가 실시되어 개략적인 검토가 실시 되었다. 1973년 경에는 불란서 Sogreah사가 아산만 조력 개발안을 제시하였다. 이어서 1974년 해양연구소의 가로림만에 대한 예비타당성 검토를 시작으로 천수만, 인천만 일대의 예비타당성 검토, 가로림만에 대한 현장조사가 계속되었다.

조력발전 타당성 검토사업이 본격화된것은 한국전력(주)가 1986년까지 서해안에 400MW급 조력발전소를 건설하려는 야심찬 계획에서 시작된다. 그 제일단계 사업(조력발전 부존자원 기초조사 연구)으로 서해안 일대를 대상으로 체계적인 조사가 1978년 해양연구소와 캐나다 용역단(Tidal Power Consultants)과 공동으로 실시되었다. 이 사업에서 서해안 일대 10개 조력지점을 확보, 기존자료를 활용하여 검토한 결과 가로림만이 최적 개발 지점으로 추천되었다. 제일단계 사업으로 1981년에는 불란서 Sogreah사를 주축으로 한 용역단과 국내 관련 기관 공동으로 가로림만에 대한 타당성 조사가 실시되어 최적 개발 규모 480MW가 제시되기에 이르렀다. 이 사업도 1986년 해양연구소와 영국 용역단이 공동으로 재검토 결과한 결과 기술적 타당성은 확인 되었으나 경제적 타당성은 입증되지 못하여 실시설계 단계로 넘어가지 못했다. 그 후 1992년 한국해양연구소가 다시 검토에 착수하여 경제성있는 개발안이 검토되고 있다.

전세계적으로 현재 가동중인 조력발전소는 불란서의 Rance, 소련의 Kislaya, 캐나다의 Annapolis, 중국의 Jiangxia의 8개소를 들 수 있다. 그 중에서도 1965년 준공된 Rance 발전소는 설비용량 240MW로서 가장 크고 현대적인 상용 조력발전소이며, 현재까지도 발전을 계속하고 있다. Rance 발전소에 설치된 Bulb 수차·발전기는 발전방식에 융통성있는 초저낙차용 수차·발전기로서 아직도 이를 능가할 만한 기기는 개발되지 않고 있다. Bulb 수차에 대처 할 만한 기기로서 개발된 Straflo 수차는 Annapolis 발전소에 Prototype급(20MW)으로 설치된 바 있으나 발전방식이 낙조식으로 고정되어 발전방식에 융통성이 없다.

Kislaya 발전소는 Floating Caisson 공법을 시도 한 점에서 특이하나 기기는 증속기 구동형 Bulb 수차를 채택했다. 소련의 북극지방에서 가물막이 공법은 문제점이 많아 멀리 떨어진 곳에서 Caisson을 제작 현장까지 예인할 수 밖에 없다. 중국에서는 1950년대 부터 소규모의 조력발전소가 40여개 건설되었으나 거의다 실패하고 현재 가동되는 것은 9개 정도이나 그것도 가동율이 별로 좋지 못하다. 이 발전소들의 공통점은 대규모 조력개발 전단계의 Pilot Plant 이라는 점이다.

* 한국해양연구소(경기도 안산시 안산우체국 사서함 29, 425-600)

전세계적으로 조력발전 타당성 검토사업이 실시된 지점은 수 없이 많지만 그 중에서도 대표적인 것은 캐나다의 Fundy만, 영국의 Severn강 하구, Mersey강 하구를 들 수 있다. 캐나다의 Fundy만은 1960년대 부터 본격적으로 검토되기 시작, 1970년대에 재검토 사업이 대대적으로 실시된 바 있으며 그 뒤 1980년대에도 Update 된 바 있다. 한편 영국에서는 1920년대 부터 Severn강 하구에 대한 조력발전 타당성을 검토했으며 1980년대 초 부터 Severn강 하구에 대한 예비타당성 검토가 대대적으로 실시되어 80년대 후반까지 단계적으로 계속되었다. 확인된 Severn Barrage Scheme은 Cardiff-Weston을 연결하는 총연장 16.3Km이며 개발 규모는 7,200MW로 아주 방대하다. 이 사업은 개발 규모의 방대함과 현재 영국 경제 침체 등의 요인 때문에 더 진척되지 못하고 있다. 한편 Mersey강 하구의 Mersey Barrage Scheme도 1981년 부터 검토되기 시작하여 Stage I, II, III를 거쳐 IIIA 단계까지 와 있고 Stage IIIB에 대한 Proposal을 내놓고 있으나 이 사업 역시 경제적인 문제 때문에 다음 단계로 넘어가지 못하고 있다. Stage IV은 발전소 건설을 위한 의회 입법화 단계이다.

여기서는 조력발전 사업이 1960년대 불란서의 Rance 이 후 개발된 기술과 영국에서의 조력발전 타당성 검토 사업 성과를 근거로 분야별로 기술개발 동향을 개략적으로 소개한다.

1) 발전방식 및 수차·발전기 개발(Power Generation and Turbine, Generator Units)

Rance 발전소는 6가지 Mode(양방향 발전, 양수, 배수)의 운전이 가능하지만 25년간 발전 실적을 검토해 보면 대체적으로 단류식 낙조 양수 발전이 주종을 이루고 있다. 또한 수차·발전기도 Bulb 형이 가장 적당한 기기로 인정을 받고 있다.

최근에 와서 발전기 구동은 직접 구동 방식 보다는 증속기 형이 선호되는 경향이 있다. 이 방식을 채택하면 발전기가 소형화되어 Bulb의 크기가 줄어들면 도수로 내에서의 Bulb 저항을 줄여 수차 효율을 높일 수 있다. 그러나 증속기 추가에 따른 비용이 발생하여 이에 대한 전체 효율과 손익 관계는 아직도 뚜렷하지 않는 실정이다. 그러나 조차가 작은 지점일 수록 증속기의 필요성은 커지고 Kislaya 발전소의 Bulb 수차·발전기는 증속기가 부착되어 있다.

또한 기기 조정도 수차 Runner의 각도를 가변시키는 경우와 Distributor Guide Vane을 조정하는 경우로 Double Regulated 수차와 Single Regulated 수차가 있으나 전자가 운전의 융통성과 효율성이 있고 발전량도 크지만 값은 가장 비싸다.

Annapolis 발전소에 설치된 Straflo형 수차는 고정 날개에 Distributor Guide Vane으로 조정하도록 설계되어 효율도 비슷하다. 그러나 조력발전에서 Straflo 수차는 아직 별다른 실적이 없다는 약점을 안고 있다.

Severn Barrage에서는 단위기 용량도 37.5MW로 대형화시켜 건설비 절감을 꾀하고 있다.

2) 시공법 (Construction Methods)

Rance 발전소의 가물막이 공법에 이어 Kislaya에서는 Caisson 공법에 성공하였고, 현재는 Caisson 공법이 선호되고 있다. 수차 Caisson의 규모도 점차 대형화 되어 Caisson당 3-4대의 수차가 계획되고 있고, 수문 Caisson도 같은 추세이다. Concrete Caisson의 대안으로 Steel Caisson도 검토되어 기존 조선소를 활용하면 별도의 Caisson 제작장을 건설하지 않아도 된다.

3) 수 문 (Sluices)

Rance 발전소에서는 Venturi형이 채택되었으며, Severn Barrage 사업에서는 Venturi형 수문 단면을 개량하여 통수 효율을 높여 수문수를 절감시키는 효과도 있었다. 그러나 Mersey Barrage 사업에서도 처음에는 Venturi형을 검토했으나 Radial 형으로 변경하였다. 그것은 현장 지반 조건과 공사에 절감 효과등의 요소가 감안되었으며 Radial형의 통수 효율은 Venturi형 보다 낮다.

Kislaya 발전소에서는 수차·발전기 위에 수문을 위치시키는 2층 구조로 되어있으며 러시아의

대형 조력지점에서 검토 된 바 있다.

4) 수치모델개발 (Numerical Models)

조력발전소 건설중이나 가동시에 발생하는 하구 조석현상의 변화 예측은 수치모델개발에 힘입은 바 크다. 즉 조석특성변화, 발전량 최적화, 퇴적물이동, 환경변화 등의 분야에 다양한 수치모델이 개발 활용되고 있다. 수치모델은 크게 0-D, 1-D, 2-D, 3-D 모델로 개략적으로 전체 윤곽을 잡은 후 1-D나 2-D로 옮겨 간다. 2-D의 경우 실제 상황에 아주 근접한다고 볼 수 있으나 계산시간, 비용 등도 감안되어야 한다. 수치모델 개발로 하구 수리변화 예측을 위한 신뢰도는 상당히 높아졌다.

5) 사업 수행체계 (Project Management)

Rance 발전소 건설, Fundy만 조력발전 예비타당성 검토, 초기의 Severn Barrage 검토사업은 정부 주도하에 전적으로 정부 예산으로 수행되었다. Fundy 사업의 경우 몇개의 민간회사가 여러개의 Consortium을 형성(CAPG, TPC등) Task Force Team을 조직하였다. 그러나 영국에서는 사업규모가 커지면서 단일 Consortium(STPG, MBC)이 조직되어 정부와 기업이 공동으로 사업비를 분담하는 형태를 취하고 있다. 이에 따라 정부 예산 부담도 줄이고 민간 기업들도 각각 전문 분야별로 사업에 참여할 수 있게 되었다. 이 Consortium은 발전소 건설, 운영 주체가 되어 사업을 처음부터 끝까지 관장하게 된다.

6) 환경 영향 검토 (Environmental Studies)

Rance 발전소 건설시에 조지내에 생긴 인위적인 하구 생태계의 큰 변화는 생태학자들에게 커다란 파문을 일으켰다. 그러나 Rance 발전소 가동에 따라 하구 생태계는 상당히 원상 회복되었으며, 현재까지도 주기적인 조사가 진행되고 있으며 아직 심각한 부작용은 발견되지 않고 있다. 그러나 조력발전이 오염물질을 배출시키지는 않지만 다소간의 환경변화를 일으키는 것은 사실이다.

7) 대체에너지 개발 촉진법 제정 (Law of Renewable Energy Development)

최근에 와서 지구온난화 문제가 심각해지면서 EC 각국은 기존 발전소에 대한 탄산가스 배출규제 및 탄소세 도입과 일정 비율의 대체에너지 개발을 의무화 하는 법(Non - fossil Fuel Obligation)을 제정하고 있다. 종전까지만해도 조력발전은 화석연료 자원고갈과 가격 상승에 대비한 화석 연료 사용의 절감 및 대체효과에 초점을 맞추어 왔지만 NFFO법 제정으로 조력발전의 발전 단가면에서 상당히 유리해졌고 Clean Energy로서 위상이 더 한층 높아지게 되었다.

3. 結論 및 제언

이상 조력발전 기술 개발의 최근 동향을 간단히 소개했다. 이제 조력발전사업은 발전소 운전 경험과 신 기술개발로 대규모 개발도 가능하며, 기술개발 못지 않게 환경 분야도 심도있게 검토 되고 있다.

우리도 400MW급 가로림 조력 발전소 건설에 앞서 Pilot Plant 단계를 거치면서 새로운 기술 개발에 역점을 두고 사업을 추진해야 할 것이다.

參 考 文 獻

1. Baker, A, C, 1991, Tidal Power, Peter Peregrinus Ltd. London, pp.250.
2. 송원오, 1993, 조력발전기술 현황분석, 한국해양연구소, BSPE00359-530-2, pp.176.

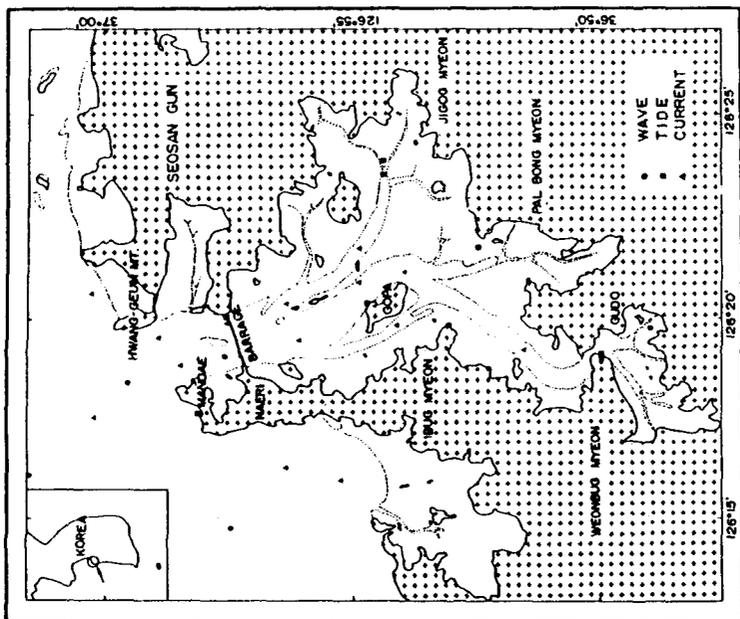


Fig.1. A map of Garolim Bay showing barrage site and major measurement points of 1981 and 1986 studies.

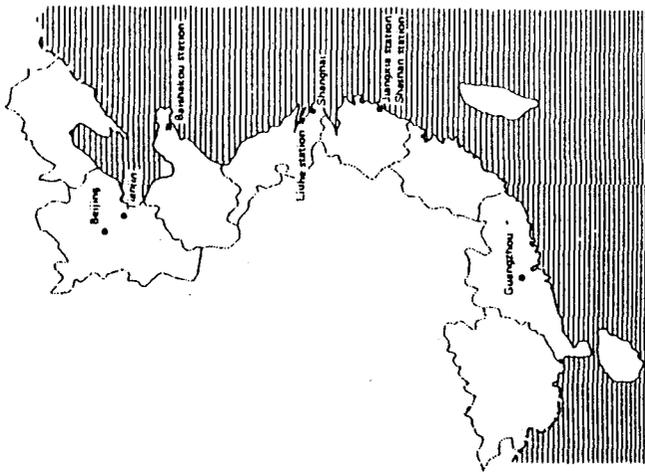


Fig.2. Location map of Chinese tidal power stations.

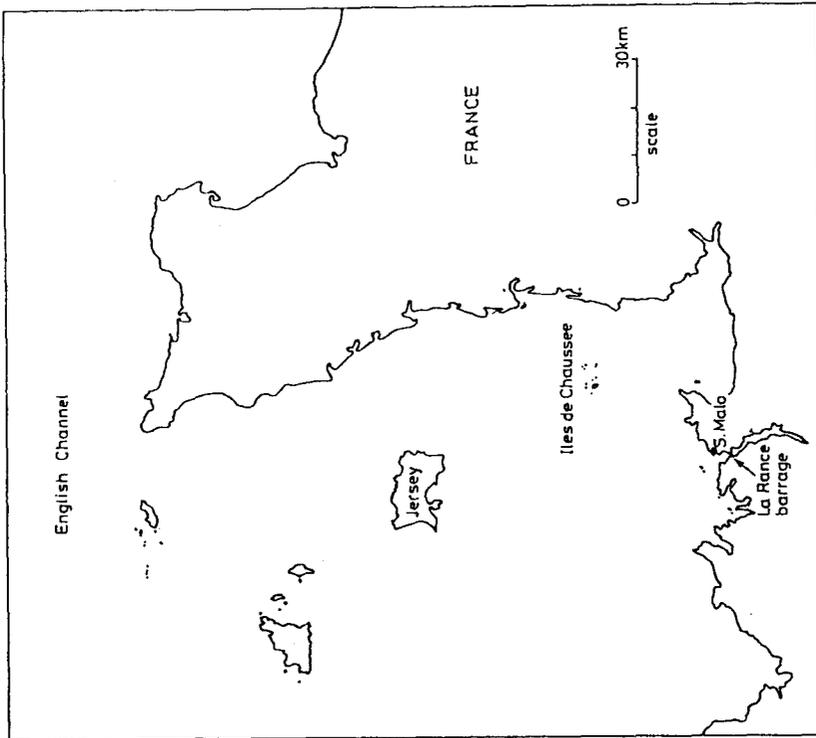


Fig. 3. French tidalpower sites.

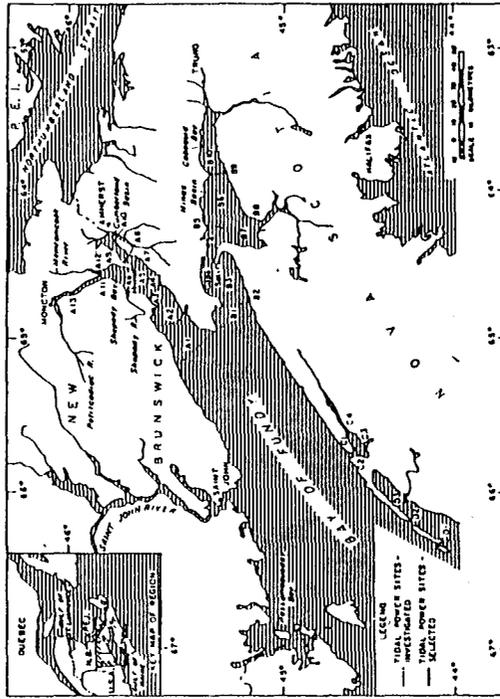


Fig. 4. Location of tidal power sites in Bay of Fundy, Canada.

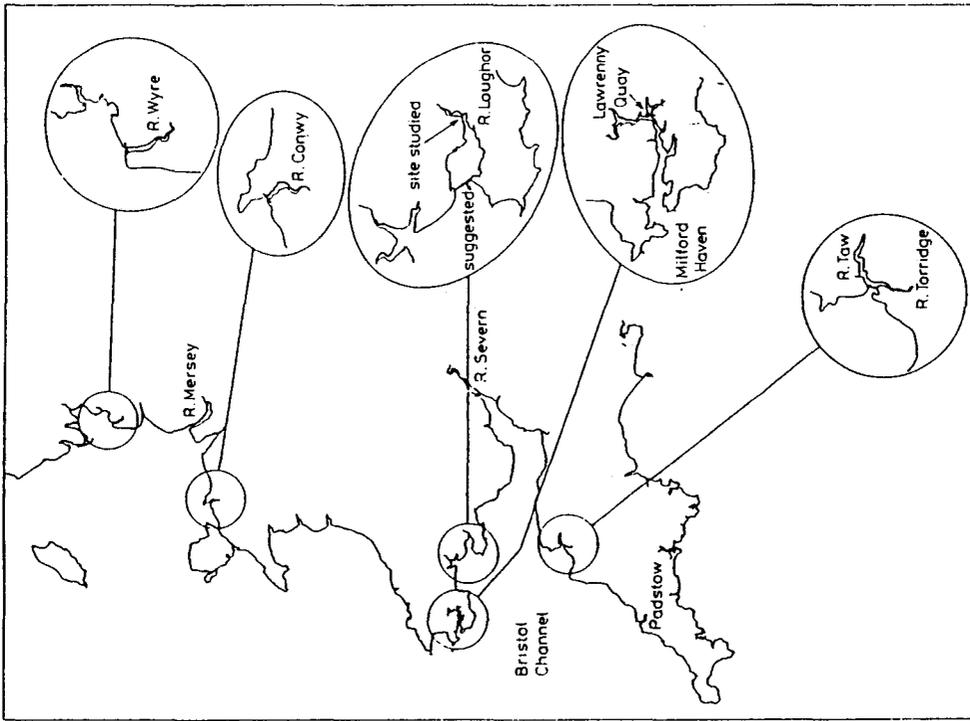


Fig.5. Locations of some small sites, worthy of further study in U.K.

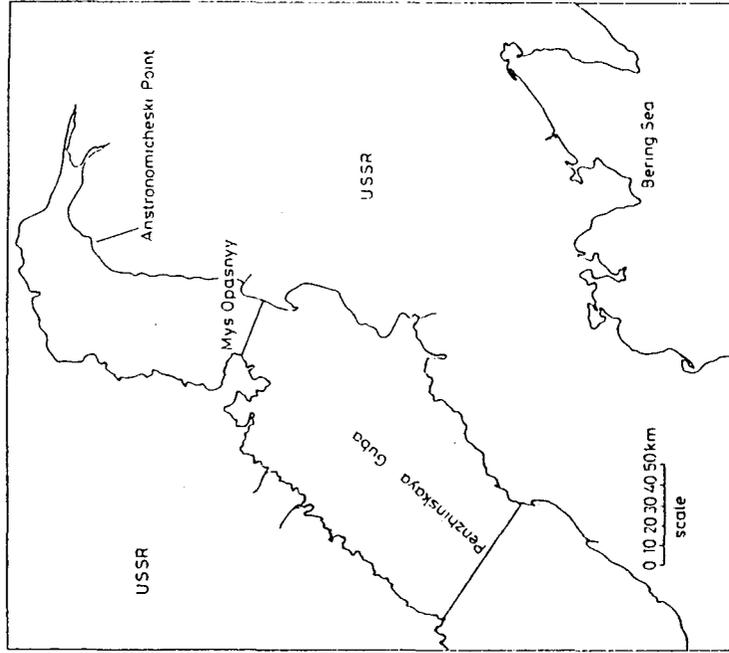
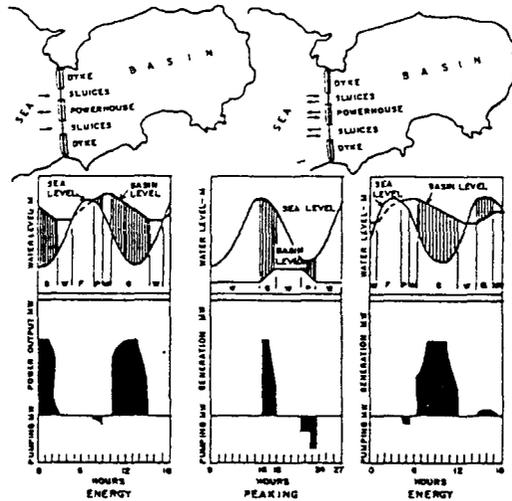
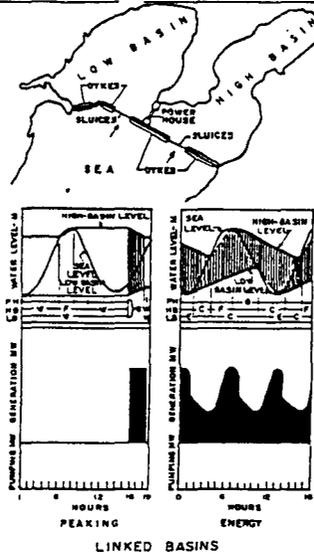


Fig.6. Possible Large barrage sites : north part of Sea of Okhotsk, Russia.



SINGLE-BASIN SINGLE-EFFECT SINGLE-BASIN DOUBLE-EFFECT



LINKED BASINS

Fig.7. Types and characteristics of tidal power developments.

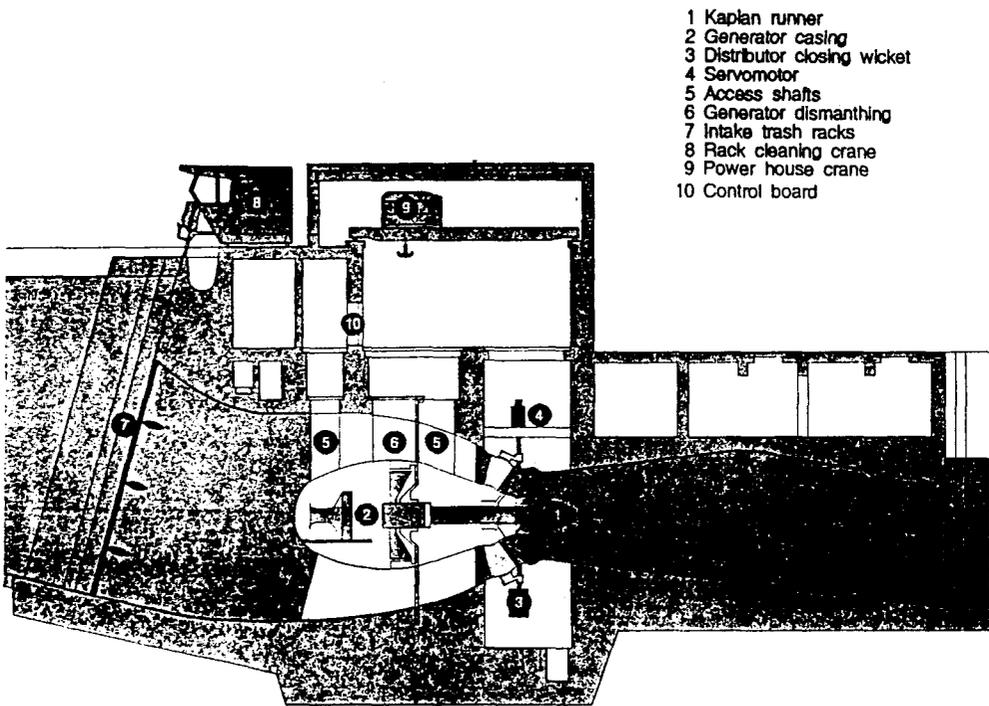


Fig.8. Typical example of the concept of turbine.