

〈特別 講演〉

人工魚礁의 設計와 配置에 관한 科學的인 合理性*

佐 藤 修**

(1987년 8월 30일 접수)

Scientific Rationales for Design and Arrangement of Artificial Reef

Osamu SATO

(Received August 30, 1987)

諸 論

일본에서 人工魚礁事業이 시작된 것은 沿岸漁業振興對策의 일환으로서 築礁를 시작한 1932년경으로 알려져 있다. 그 이후 造形이 용이하고 耐久性이 강한 콘크리트魚礁가 1935년에 시험적으로 사용되어 1945년 이후에는 食糧難時代와 더불어 많은 縣에서 여러 가지 造形物을 沿岸漁場에 투입하게 되었다. 이 築礁事業은 1952년부터 國庫補助事業으로 채택되었고 이로부터 2년후인 1954년부터 魚類를 대상으로 하는 人工魚礁라는 명칭의 事業이 본격적으로 등장하였다. 그러나 이 시기에 國庫補助事業의 대상이 된 造形物은 재료가 콘크리트로서 立方體稜型(中空四角型)과 窓이 달린 圓筒型의 2종류만이었으며 다른 造形物은 補助對象에서 제외되었다. 1958년에는 共同漁業權外의 海域에도 不特定漁民을 대상으로 한 大型魚礁事業이 새롭게 발족하게 되므로서 共同漁業權內의 魚礁를 並型魚礁라 하여 大型魚礁와는 구분하게 되었다. 또한 이때부터 재료도 프라스틱, 타이야, 鋼材등 여러 종류의 것이 시험 개발되고 浮魚礁의 시험이 행하여지는 등 材料, 形狀, 크기 등이 서로 다

른 多種의 造形物이 人工魚礁로서 사용되게 되었으며 사업량도 대폭으로 늘어났다. 1975년부터는 沿岸漁業整備開發法에 따라서 대대적인 사업이 실시되었으며 이 법에 의한 사업내용을 소개하면 <Table 1>과 같다.

현재 일본 沿岸해역에 설치되고 있는 人工魚礁는 대부분이 國庫補助에 의해서 施工되고 있고 사업건수는 1976년에서 1983년사이의 8년간에 並型魚礁 약 2,200건, 大型魚礁 약 900건, 人工礁*** 약 127건, 海域礁**** 약 22건으로 되어 있다. <Fig. 1>에는 일본의 대표적인 魚礁들을 나타내었다.

1. 單位魚礁漁場

魚礁設置規模를 어느 정도까지 세분화하여서 魚礁漁場이라 할 수 있는가 하는 문제는 魚礁漁場을 어떻게 定義할 것인가 하는 점에 귀결된다. 당초에는 魚礁 1개를 單體礁, 이것을 일정한 범위에 일정개수만큼 배치한 集合體를 單位魚礁, 單位魚礁를 일정 간격내에 수개 배치한 것을 魚礁群이라 하여, 이러한 魚礁群이 수개 일정한 거리내에 배치되어 漁場으로서의

* 이 글은 1987년 春季學術大會에서 特別講演한 佐藤 修 教授의 講演內容을 중심으로 釜山水產大學의 李珠熙教授가 再整理한 것이다.

** 北海道大學 水產學部: The Faculty of Fisheries, Hokkaido University.

*** <Table 1>의 人工魚礁漁場造成事業에 따름.

**** <Table 1>의 海域開發基幹事業에 따름.

Table 1. Summary of Projects to Maintain and Develop Coastal Fishing Grounds

| Projects | | Purpose | Scale | Sponsor | Sub. rate |
|-------------------------------------|--|---|---|--|-------------------------------|
| Keel Installation | Installation of regular reefs | To sink-install reefs made from durable materials such as concrete blocks | less than 2,500m ³ | Prefectures, cities, towns, villages, fishermen's cooperatives | 5/10 |
| | Installation of large reefs | | more than 2,500 m ³ | prefectures | 6/10 |
| Keel Installation | Construction of artificial reef fishing grounds | To construct reef groups from durable materials | 3,000 - 79,000 m ³ (av. is 50,000 m ³) | prefecture | survey: 5/10 project: 7/10 |
| | Construction of nurseries for larval and juvenile fish | Marine plant beds and tidal land construction | less than 300 million yen | prefectures, cities, towns, villages | 6/10 |
| Ground Construction and Propagation | Development of large-scale propagation grounds | Construction of offshore breakwaters, banks, etc.; dredging, plowing the ground, cultivation, land readjustment, spawning reefs, reefs for larval and young fish, marine plant cultivation reefs, tidal land construction | more than 300 million yen; more than 100 ha | Prefectures | 6/10 |
| | Fishing ground construction | Construct breakwater facilities; improvement of seawater flow; widening waterways | less than 500 million yen and more than 5 ha | prefectures, cities, towns, villages | 5/10 |
| Cultivation and Propagation | Development of shoal fishing grounds | | More than 500 mil. yen, 10 ha | prefectures | 5/10 |
| | Maintenance & protection of fishing grounds | waste removal, cultivation, plowing | — | prefectures, cities, towns, villages | 5/10 |
| Coastal Fishing Ground Protection | | dredging, widening of waterways | more than 100 million yen | | 6/10 |

人工魚礁의 設計와 配置에 관한 科學的인 合理性

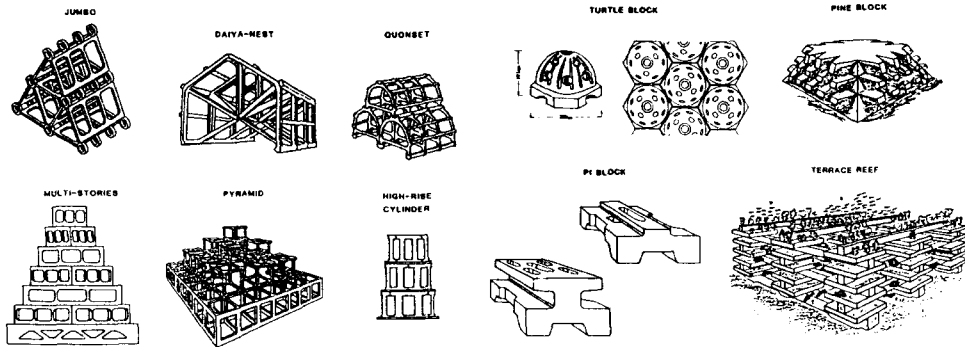


Fig. 1. Typical Japanese reef modules.

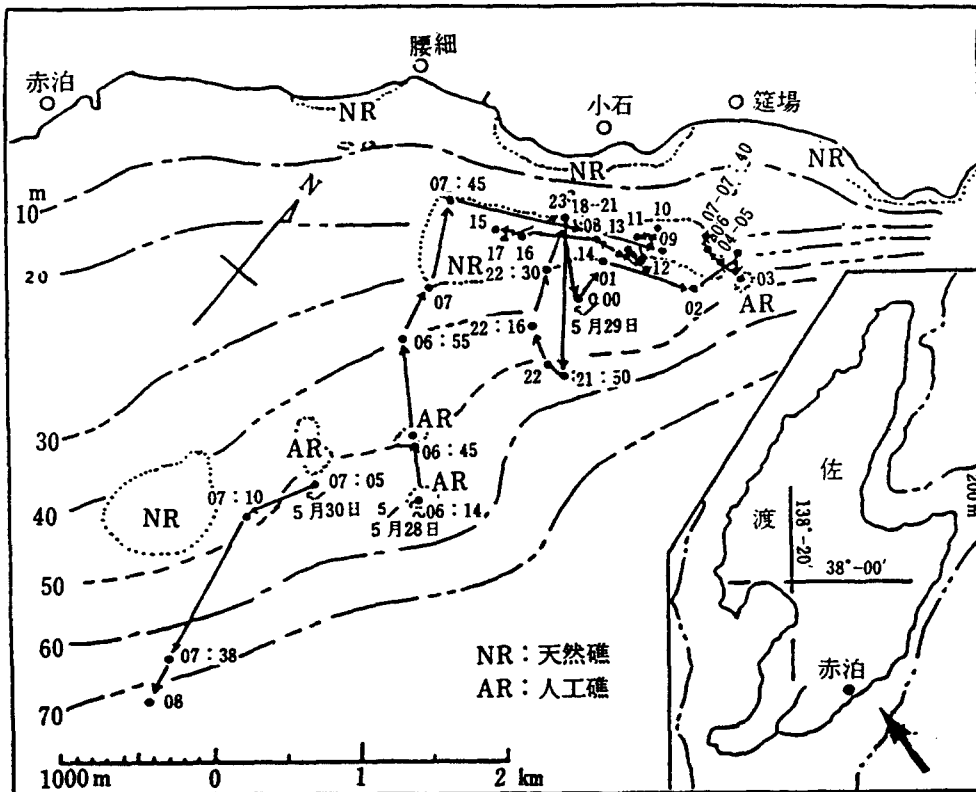


Fig. 2. Trajectory of tagged snapper over 3-days period.

역할을 할 수 있게 한 것을 魚礁帶라고 하였다. 그러나 실제로 魚礁事業이 진보하고 魚類의 對魚礁行動이 밝혀져감에 따라 <Fig. 2>에서 나타난 바와 같이 魚種에 따라서는 꽤 먼거리를 두고 自然礁와 人工魚礁를 왕래한다¹⁾는 것이 밝혀져 魚礁를 規模에 의해서 日曆적으로 命名하여 구분한다는 것이 매우 어렵게 되었다.

근간에는 魚礁로서의 性格을 새롭게 하여 「集魚機能을 가진 構造物이라는 단순한 규정으로부터 진일보하여 「어느 정도의 規模를 갖추어 設置된 單體礁群에 의해서 造成된 漁場으로서, 操業漁船 최소 2척이 經濟的으로 漁獲活動을 할 수 있는 정도의 크기」로 인식하게 되었다. 이와같은 관점에서는 일본에서 지금까지 가장 오랜기간 시행하여 사업전수도 많은 並

型魚礁事業의 경우 전국적인 平均規模에 해당하는 400空³를 2척의 少型漁船이 조업할 수 있는 最少量으로서 판단하여도 크다란 오류는 없는 듯 하다.

2. 單體礁의 強度 및 安定性

筆者가 1983년 1월 현재 일본에서 海岸線을 갖춘 都道府縣을 대상으로 설문조사를 한 결과에서 보면, 공공사업에 의한 人工魚礁事業이 전국에서 실시되고 있으며 공사의 檢査基準 또는 特別仕様書의 기재내용에서 블록제작(86%), 운반관계(56%), 설치작업관계(65%)가 주로 되어 있고, 완성시의 精度, 硬度, 配筋등에 관해서는 대부분의 縣에서 檢査까지 행하고 있으나 그밖의 事項에 관해서는 아직 檢討단계에 있는 곳이 많았다.

현재 사용되고 있는 魚礁單體는 높이 10.5~1.0 m 중량 68.2~1.0톤 용적 230~1.0空³로서 大型의 것도 많아 졌다.

少型 單體礁의 설치작업시에는 水面 근처에서 自由落下시키는 경우가 많고, 이에 따른 着底衝擊 등에 관해서도 이미 解析이 이루어져 있다.²⁾ 한편 大型單體礁에 있어서는 크레인으로서는 海底 가까이 까지 垂下設置하고 있으므로 強度에 관해서 그다지 문제되지 않고 있으며 실제 공사중에서는 약간의 파랑이 있을 경우가 많아서 파고 50 cm 정도까지는 대개 作業可能한 것으로 하고 있다.

安定性에서 문제가 되는 것은 移動, 轉倒, 沈下現象이라 할 수 있다. 이중 移動과 轉倒를 解析하기 위한 流體中の 低抗係數를 구할 때, 魚礁의 설치자세가 底面이 해저에 부착된 상태가 되므로 동일형의 모형 2개로서 底面이 서로 접촉하도록 하여 실험을 하고 그 抗力을 반분하여 係數를 구할 필요가 있다. 지금까지의 많은 실험에서는 單體에 의한 低抗係數를 구하고 있으므로 低抗係數가 실제보다 약간 크게 나타나는 경향이 있다. 통상 魚礁는 깊은 곳에 설치되므로 파랑이나 흐름에 의한 安定計算이 대개의 경우 충분하지만, 특수한 地形에 있어서는 흐름이 문제가 되고, 특히 앞으로는 모래떨지역에도 설치해야 할 것을 전제로 하여 沈下를 적게 일으키도록 礁體의 外觀상 比重을 적게 해주는 방법이 고려되어야 한다. 이런 경우의 安定計算은 單體를 사용한 실험으로부터 구한 係數를 적용하다 보면 計算과 實際가 잘 맞지 않게 된다.

지금까지는 魚礁設置의 適地로서 沈下現象이 일어나지 않는 곳을 주로 해 왔으나 앞으로는 砂泥地도

魚礁設置의 對象適地로서 개발해 나갈 필요가 있다. 이 경우에는 筆者의 理論³⁾에 따른 沈下解析이 도움이 될 것이다. 이때 魚礁는 적합한 形狀을 갖추어야 할 뿐만 아니라 外觀상의 比重이 작아져야 하며, 이 比重의 減少는 역으로 流體低抗으로 인한 移動과 轉倒의 問題를 심각하게 한다. 이러한 점을 補完하는 견지에서 設計時에 砂泥層에 약간 잠긴 자재트럭 安定을 취할 수 있도록 前提條件을 부가하여 검토하여야 한다.

3. 單位魚礁의 構造와 配置

앞에서도 언급을 하였지만 單位魚礁를 생각할 경우 그 性格을 명확히 하지 않으면 안된다. 단순히 한개의 커다란 集合體를 이루기 위해서 몇개의 블록 덩어리를 적당히 配列한다고 해서 漁場의 역할이 기대되는 것은 아니다. 集魚効果만을 고려했다면 작은 單體 한개로서도 고기의 時空間的인 分布에서 볼 때 충분한 效果가 있다고 말할 수도 있으나, 漁獲을 목적으로 한 魚礁漁場의 構成單位로서는 그것이 存在 하므로서 2척이상의 小型漁船이 계속적으로 操業이 가능한 정도의 規模를 요구한다. 따라서 단순히 몇空³라는 식이 아니라 對象魚種이나 地域에 따라서 적정한 規模가 있는 것이다.

한편 漁獲을 目標로 하지 않는 保護礁의 경우에는 漁獲礁와는 별도의 單位를 생각해야 할 것이다. 즉 單位保護礁는 그 魚礁의 설치해역이 어디고기를 충분히 보호하고 목적하는 漁場의 資源維持와 持續的인 生産을 保證하는 規模가 되어주어야 하므로 漁獲礁 보다는 다소 커야 할 것이다. 이와같이 單位魚礁라고 하면 그 目的하는 性格이 명확해야 하고 그 性格을 발휘할 수 있는 最小規模가 單位로서의 의미를 갖는 것이다.

한편 單位魚礁의 規模가 결정되고 나면 그 속에 配置되는 單體礁의 組合方法은 무수히 많아진다. 예를 들면 한개의 單體礁로서 單位魚礁의 規模정도로 크게 만들 수 있는가 하면 1空³ 크기의 單體礁를 여러개 모아서 만들 수도 있다. 또한 한덩어리로 集中配置할 수도 있을 것이며 한개씩 띄어져 있고 일정 거리에 分散시킬 수도 있고, 大小型의 單體礁를 적절히 섞어서 배치할 수도 있을 것이다.

<Fig. 3>은 岩手縣에서 실시한 大型魚礁의 모형으로서 동일종의 블록만 가지고 일정한 범위와 높이를 갖추도록 하여 하나의 群을 형성하고 있다.

<Fig. 4>는 新潟縣에서 실시한 것으로서 3종류의 單體

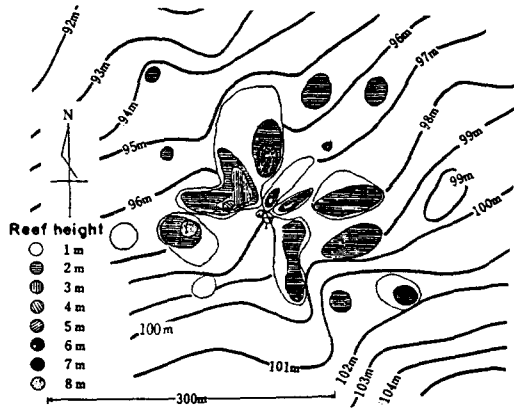


Fig. 3. An example of reef distribution in Iwata Ken.

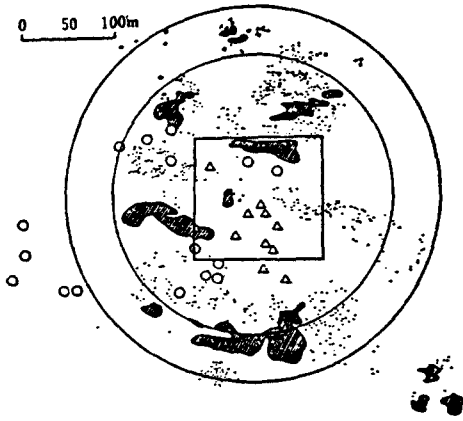


Fig. 4. Reef distribution traced by scanning sonar

- : 9 ton type 16 Sets
- △ : 21 ton type 10 Sets
- : 3 ton type 2095 Sets.

礁를 복합적으로 배치하여 높이 및 넓이를 변화시켰다. 그 밖에도 여러가지 配置實例가 있으며 이들 配置方法은 그 지역의 주요 對象魚種과 使用漁具와의 關連으로 부터 결정되어 진다.

4. 持續的인 安定生産을 위한 魚礁構造

加藤等⁴⁾은 若狹灣내에서 魚礁漁場의 規模를 2.5 × 2.0 평방마일(약 17 km²) 로 기획하여 17 개의 海區로 나누고 이들 각 海區에 들어하는 小型漁船을 대상으로 1년간 調查研究를 시행하여, 각 海區에 설치된 人工魚礁의 量과 漁獲量과의 關係를 정리하여 <Fig. 5>에 나타내었다. 이 그림에서 보면 海區別의

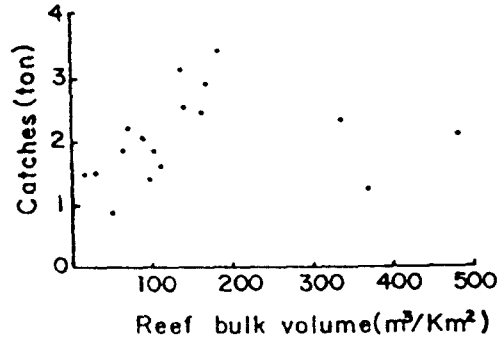


Fig. 5. Relation between catches and reef bulk volume investigated in Wakasa Bay (1980).

漁獲量에는 차이가 있으나 1 km² 당의 魚礁量으로서 250 m³ 정도가 가장 效率이 좋다는 것을 알 수가 있다. 이런 종류의 研究는 다른 예를 찾아 볼 수 없으므로 아직은 판단하기 어려우나 앞으로 이 방면의 研究가 계속 나오므로서 魚種別로 가장 效率的인 魚礁量의 判斷基準이 마련될 것으로 본다.

魚礁는 설치후 시간이 흐름에 따라서 그 效果도 변화해 간다. 그러한 양상을 模式的으로 그린 것이 <Fig. 6>이다. 여기서 가로축에 時間을 취해보면, 일정시간이 경과한 후에 그 魚礁의 效果는 최대가 되고 그 이후로부터는 약간씩 減少해 가면서 오랜 기간동안 그 效果를 발휘한다. 이 오랜 기간이 지나게 되면 당초의 形狀이 변하고, 예를 들면 形狀이 붕괴되어 天然礁 처럼 되어갈 것이다. 이 때 造形物의 구조가 흐름의 영향을 받기 쉬운 경우에 形狀의 붕괴로 인한 構造物의 일부가 海底에서 자유로이 移動하게 된다면 다른 漁場에 피해를 줄 수가 있다. 그림에서 점선의 B는 이것을 의미한다. 지금에 있어서는 이러한 문제 뿐만 아니라 漁場에서 사용되는 漁具가 魚礁에 걸리어 魚礁를 뒤덮게 됨으로써 漁場 그 자체를 파괴하게 되는 경우도 나타나고 있다.

魚礁漁場의 造成은 어디까지나 장기간에 걸친 持續的인 安定生産을 目標로 造成되는 것이므로 위와 같은 마이너스 효과가 생기지 않도록 構造와 材質을

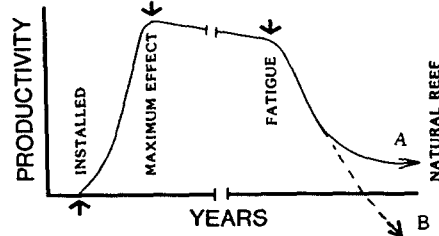


Fig. 6. Schematic Showing a life cycle of reef.

佐藤修

생각해 가야 하고 漁場을 이용하는 漁民들도 使用漁具의 제한 등을 통해서 魚礁의 効果가 마이너스로 전가되지 않도록 努力해야 할 것이다.

文獻

- 1) 柿元皓ら(1984) : 魚礁周邊における魚類の行動. 海中構築物周邊の魚類の資源生態研究報告書, 新

潟水誌, 131-148.

- 2) 上北征男(1987) : 人工魚礁の安全設計. 月刊海洋科學, 19(3), 139-146.
- 3) 佐藤修(1968) : 人工魚礁に関する若干の問題點. 水産増殖, 7, 73-62.
- 4) 加藤安雄ら(1982) : 人工魚礁投入量と漁獲量との關係. 第1回水産工學研究推進全國會議資料, 水産廳 研究部, 65-66.