

저수지 제체의 보수·보강용 Cement-Bentonite 벽체의 적정혼합량 산정

The Estimation of Appropriate Mixing Amount of Cement-Bentonite Cutoff Walls for Repair and Reinforcement of Reservoir Embankments

김 태 연¹⁾ · 이 봉 직[†]

Tae yeon Kim · Bongjik Lee

Received: March 31st, 2021; Revised: April 28th, 2021; Accepted: May 25th, 2021

ABSTRACT : Due to heavy rainfall and typhoons caused by climate change, it has become common to witness heavy rain that exceeds the design frequency of agricultural reservoirs. This has brought greater attention to the safety of irrigation facilities including agricultural reservoirs. Out of approximately 17,740 reservoirs available in Korea, 83.87% were built before 1970. To ensure the safety of these old reservoirs, their embankments are being repaired and reinforced using various techniques. Among these techniques, using the cement-bentonite cutoff wall makes it possible to construct diaphragm walls with slurry composed of cement and bentonite, while excavation. The advantages of this technique include that it is simple and fast, and ensures the uniformity of cutoff walls by enabling the immediate application of the replacement method to excavation areas; thus excellent performance is guaranteed. However, despite these advantages, the technique is not commonly used in Korea. Thus, this study investigated the changes in strength and permeability by varying the mix ratio of cement and bentonite. As a major experimental results, when the cement of 200 kg/m^3 and the bentonite of 60 to 80 kg/m^3 is most suitable for the repair and reinforcement of the reservoir embankments.

Keywords : Cement, Bentonite, Mixing amount, Cutoff walls, Uniaxial compressive strength, Permeability

요 지 : 최근 기후변화로 인한 집중호우 및 태풍 등으로 농업용 저수지의 설계빈도를 초과하는 호우가 빈번히 발생하고 있어 농업용 저수지와 같은 수리시설물의 안전에 대한 관심이 증가하고 있다. 현재 국내에는 17,140여 개소의 저수지가 공용 중에 있으며, 이 중 83.87%가 1970년 이전에 건설되어 저수지의 노후화에 따른 안정성 확보를 위해 저수지 제체에 다양한 공법을 활용한 보수·보강을 실시하고 있다. 그 중 cement-bentonite 벽체를 활용한 공법은 굴착과 동시에 cement와 bentonite로 이루어진 slurry로 지중연속벽체를 시공하는 공법으로 시공방법이 간편하고 시공속도가 빠르며 굴착구역을 즉시 치환함으로 차수벽체의 균질성을 확보하여 성능이 우수하다는 장점이 있다. 그러나 이와같은 장점에도 불구하고 국내에서는 적용사례가 많지 않은 실정이다. 이에 본 연구에서는 cement와 bentonite의 혼합량을 변화시켜가며 강도변화 및 투수특성 등을 구명하여 저수지 제체의 보수·보강을 위한 cement-bentonite 벽체의 적정혼합량은 cement 200 kg/m^3 , bentonite $60 \sim 80 \text{ kg/m}^3$ 인 경우가 가장 적합하다는 결론을 도출하였다.

주요어 : 시멘트, 벤토나이트, 혼합량, 차수벽, 일축압축강도, 투수성

1. 서 론

최근 기후변화로 인한 집중호우 및 태풍 등으로 농업용 저수지의 설계빈도를 초과하는 호우가 빈번하게 발생하고 있으며, 이로 인해 발생하는 홍수는 저수지 상, 하류 지역에 큰 피해로 이어질 수 있어 농업용 저수지와 같은 수리시설물의 안전에 대한 관심이 증가하고 있다(Choi, 2015). 한국농어촌공사에서 발간한 농업생산기반 정비통계연보(Korea Rural Research Institute, 2020)에 의하면 현재 17,140여 개소의 저수지가 공용 중에 있으나, 이 중 83.87%가 1970년 이전에 건설됨에 따라 저수지의 노후화로 인해 안정성 확보

에 우려가 있다(Cho et al., 2019).

이에 사고의 예방을 위해 저수지 제체에 보수·보강을 실시하고 있으며, 보수·보강공법으로 차수 그라우팅 공법이 주로 활용되고 있다. 차수 그라우팅 공법은 공용 중인 저수지 제체에 천공 후 그라우팅재를 주입하는 공법으로 저수지 제체에 가해지는 손상이 적어 효율적인 대안이나, 지반 간극을 통해 충전되는 그라우팅 공법의 특성상 정확한 보수·보강 범위의 파악 및 검증이 어렵다는 한계가 있다(Hwang et al., 2016).

이러한 그라우팅 공법의 한계를 극복하기 위한 여러 공법들이 개발되어 왔으며, 그 중 Cement-Bentonite 벽체를 활용

1) Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Korea National University of Transportation

† Professor, Department of Civil Engineering, Korea National University of Transportation (Corresponding Author : bjlee@ut.ac.kr)

한 공법이 있다. Cement-Bentonite 벽체(이하 CB 벽체)는 굴착과 동시에 Cement와 Bentonite 및 물로 이루어진 Slurry로 지중연속벽체를 시공하는 공법으로, 일반적인 그라우팅 공법에 비해 차수성에 대한 정확한 예측과 시공결과에 대한 성과 검증이 용이하다(Kim et al., 2014). 또한, 시공방법이 매우 간편하고 시공속도가 빠르며, 굴착구역을 CB Slurry로 즉시 치환함으로 벽체의 균질성을 확보하여 성능이 우수하다는 장점이 있다(Oh, 2015).

그러나 이와 같은 장점에도 불구하고 국내에서는 다양한 연구가 진행되지 않아 적용사례가 많지 않은 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 CB 벽체의 활용성을 높이기 위해 Cement와 Bentonite의 혼합량을 변화시켜가며 강도변화 및 투수특성 등을 구명하여 저수지 제체의 보수·보강을 위한 CB 벽체의 활용방안을 제시하였다.

2. Cement-Bentonite 벽체의 품질기준

2.1 CB 벽체

오염물질이나 지하수의 흐름 및 유출의 차단, 해수 침투 방지 및 노후된 제체의 보수·보강 등을 목적으로 해외에서 많이 사용되는 CB 벽체는 일반적으로 0.6~0.9m의 폭을 갖는 수직 트렌치로 굴착되며, 원지반의 굴착함과 동시에 Cement, Bentonite 및 물로 이루어진 Slurry로 치환하여, 치환된 Slurry가 시간이 경과함에 따라 소요의 강도를 발휘하는 벽체를 구성하게 된다.

CB 벽체는 사용목적에 따라 배합량을 결정하며 주로 일축압축강도와 투수계수를 기준으로 품질관리가 이루어진다. 일반적으로 CB 벽체의 강도는 원지반보다 다소 높게 설계되며, 재료의 혼합량을 증가시키거나 혼화제를 첨가하여 더욱 높은 강도와 낮은 투수성을 확보할 수 있으나, 과도한 Bleeding에 의한 재료분리 및 불안정한 혼합은 방지해야 한다(Jefferis, 2012).

미국 Bureau of Reclamation(2014)에서는 저수지 제체의 보수·보강으로 활용하기 위한 CB 벽체의 투수계수를 $1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$, 일축압축강도는 재령 28일 이후 68.95~137.89kPa로 제안하고 있으며, 제방 응력으로 인한 변형 발

Table 1. Typical mixing proportions for cement-bentonite cutoff walls (Jefferis, 2012)

| | |
|-----------------|-------------------------------------|
| Bentonite | 30 to 60 kg/m ³ |
| Portland cement | 200 to 350 kg/m ³ |
| Water | To total volume of 1 m ³ |

생 시 벽체의 유연성과 균열에 대한 저항성을 고려하여 최대 344.74kPa 이하로 설계하도록 요구하고 있다.

2.2 본 연구의 적용기준

본 연구에서는 미국 Bureau of Reclamation(2014)의 설계기준을 참고하여 Table 2와 같이 CB 벽체의 품질기준을 설정하였다. 본 연구에서 활용하고자 하는 CB 벽체의 사용목적이 저수지 제체의 보수·보강인 것을 감안하여 투수계수의 경우 재령 28일에서 $1 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 이하, 강도의 경우 일축압축강도를 기준으로 재령 28일에서 70kPa 이상으로 설정하였으며, 벽체의 유연성 및 변형에 대한 저항성을 고려하여 최대 압축강도를 344kPa 이하로 설정하였다. 또한, CB 벽체 타설 후 발생하는 Bleeding에 의한 재료분리 및 수축 등의 품질관리를 위하여 Bleeding율을 10% 이내로 설정하였다.

3. 실내실험 및 방법

3.1 재료특성

3.1.1 Cement

실험에 사용된 Cement는 국내에서 상용화 중인 H사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 사용된 Cement의 물리적 특성은 Table 3과 같다.

3.1.2 Bentonite

실험에 사용된 Bentonite는 몬트모릴로나이트를 주성분으로 하는 나트륨계 벤토나이트를 이용하였으며, 벤토나이트의 물리·화학적 특성은 Table 4~5와 같다.

Table 2. Cement-bentonite cutoff walls design criteria

| | |
|----------------------|--|
| Bleeding | Less than 10% |
| Permeability | Less than $1 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ |
| Compressive strength | Curing 28 day : greater than 70 kPa |
| | Less than 344 kPa |

Table 3. Physical properties of O.P.C.

| | | | | |
|-----------------------------|---------|-------------|--------------|------|
| Specific gravity | 3.14 | Curing time | U.C.S. (MPa) | |
| Blaine (cm ² /g) | 3,780 | 3 day | 32.1 | |
| Hydration heat (cal/g) | 39 | 7 day | 44.9 | |
| Setting time (h : m) | Initial | 04 : 40 | 28 day | 55.1 |
| | Final | 05 : 50 | | |

Table 4. Chemical composition of betonite

| Chemical components | | | | | |
|---------------------|-----------|-------|-------|--------|---------|
| SiO_2 | Al_2O_3 | CaO | MgO | K_2O | Na_2O |
| 53.8 | 18.4 | 3.37 | 2.62 | 1.37 | 3.74 |

Table 5. Physical properties of betonite

| Property | Value |
|--------------------------------|-------|
| Moisture content (100°C, 2 hr) | 11.8% |
| Percent passing #200 sieve | 82.2 |
| Swelling volume (mL / 2 g) | 25 |
| Specific gravity | 2.46 |
| Ph | 10.3 |

3.2 실험방법

3.2.1 혼합량

Cement와 Bentonite의 혼합량에 따른 CB 벽체의 특성을 파악하기 위하여 Table 6과 같이 시료를 조성하였다. 시료

제작 시 분말상태의 Cement와 Bentonite를 각각 물과 2분간 교반시킨 후 Slurry 상태에서 Cement와 Bentonite를 혼합한 후 3분간 재교반을 실시하여 시료를 제작하였다.

3.2.2 Bleeding 시험

혼합량에 따른 CB 벽체의 Bleeding을 평가하기 위하여 KS F 2433에 의거 시험을 실시하였다. 시험은 혼합량에 따라 제작된 CB 벽체 시료를 지름 50mm, 높이 500mm의 폴리에틸렌 실린더에 200mm 높이까지 채웠으며, 시료로 채워진 폴리에틸렌 실린더를 물이 400mL 들어있는 1,000mL의 메스실린더에 넣어 폴리에틸렌 실린더 안 시료의 윗면과 메스실린더 안의 수면을 일치시킨 후 측정을 실시하였다. 측정 시작 20시간 후 Bleeding으로 인해 발생된 물을 피펫으로 추출하여 20mL 메스실린더에 넣어 Bleeding을 계산하였다.

3.2.3 일축압축강도시험

혼합량 변화와 양생방법에 따른 강도변화를 평가하기 위

Table 6. Summary of CB cut-off wall mixing design

| Mixture type | Mixing ratio (kg/m^3) | | | Curing time (days) | Curing condition |
|--------------|---------------------------|--------|----------------------|--------------------|----------------------|
| | Bentonite | Cement | Water | | |
| A-1 | 20 | 100 | To volume of $1 m^3$ | 7, 14, 28, 60, 90 | Moisture, Underwater |
| A-2 | | 200 | | | |
| A-3 | | 300 | | | |
| A-4 | | 400 | | | |
| B-1 | 30 | 100 | | | |
| B-2 | | 200 | | | |
| B-3 | | 300 | | | |
| B-4 | | 400 | | | |
| C-1 | 40 | 100 | | | |
| C-2 | | 200 | | | |
| C-3 | | 300 | | | |
| C-4 | | 400 | | | |
| D-1 | 50 | 100 | | | |
| D-2 | | 200 | | | |
| D-3 | | 300 | | | |
| D-4 | | 400 | | | |
| E-1 | 60 | 100 | | | |
| E-2 | | 200 | | | |
| E-3 | | 300 | | | |
| E-4 | | 400 | | | |
| F-1 | 70 | 100 | | | |
| F-2 | | 200 | | | |
| F-3 | | 300 | | | |
| F-4 | | 400 | | | |
| G-1 | 80 | 100 | | | |
| G-2 | | 200 | | | |
| G-3 | | 300 | | | |
| G-4 | | 400 | | | |

하여 혼합량에 따라 CB 벽체 시료를 제작하였으며, 시료의 양생을 현장 조건과 일치시키기 위해 습윤양생과 수중양생으로 구분하여 실시하였다. 공시체는 높이 10cm, 내경 5cm인 EP몰드를 사용하여 제작하였으며, 일축압축강도시험 시 재하속도는 1mm/min으로 유지하였다.

3.2.4 변수위 투수시험

CB 벽체에서 중요한 평가항목 중 하나인 투수성 평가를 위하여 변수위 투수시험을 실시하였다. 변수위 투수시험을 위한 공시체는 각각의 배합조건에 따라 혼합된 시료를 지름 10cm, 높이 12cm의 몰드에 채워 목표재령일까지 양생을 실시하였으며, 시료를 포화시킨 후 실험을 실시하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 Bleeding 시험 결과 및 분석

Bleeding 시험결과, Fig. 1과 같이 각각의 혼합량에 따른 CB 벽체 시료의 Bleeding율은 3.06~52.84%로 나타났으며, Cement와 Bentonite의 혼합량이 증가함에 따라 Bleeding율은 감소하는 것으로 나타났다. 특히, Cement 혼합량이 증가하는 경우보다 Bentonite 혼합량이 증가하는 경우에 큰 Bleeding율 감소를 보였으며, Bentonite 혼합량 $50\text{kg}/\text{m}^3$ 을 기점으로 Bentonite 증가에 따른 Bleeding율 감소효과가 작아짐을 알 수 있다.

또한, Bentonite 혼합량이 증가함에 따라 Cement 혼합량 증가로 인한 Bleeding율의 감소효과가 저하되는 것으로 나타나, CB 벽체의 Bleeding율은 Cement 혼합량보다 Bentonite 혼합량에 많은 영향을 받음을 알 수 있다.

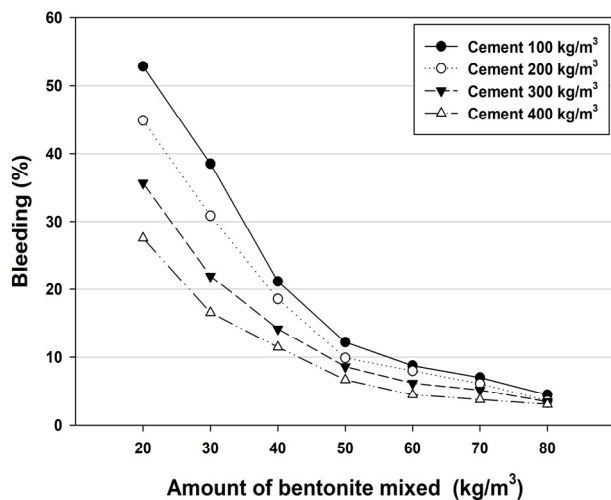


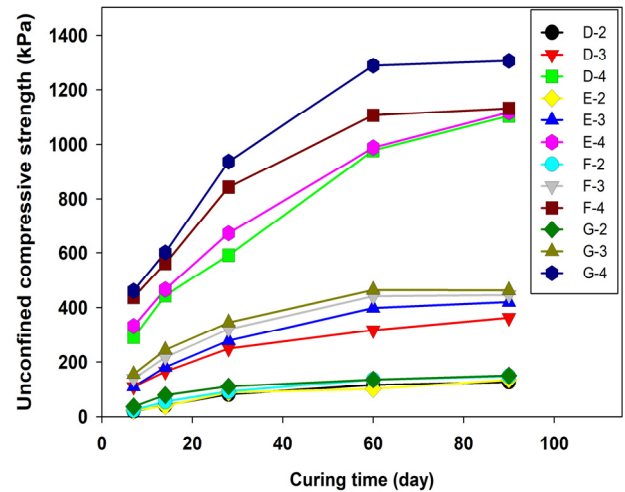
Fig. 1. Results of bleeding tests according to the mixing amount of cement and bentonite

이상의 결과를 통해 Bentonite 혼합량이 $40\text{kg}/\text{m}^3$ 이하인 모든 경우와 Cement 혼합량이 $100\text{kg}/\text{m}^3$ 인 대부분의 경우에 Bleeding율이 본 연구의 기준을 상회함을 알 수 있으며, 시공 시 재료분리 및 벽체의 과도한 수축 등으로 인해 품질 관리가 어려워 CB 벽체로 활용이 적합하지 않을 것으로 판단된다. 따라서, Bleeding율을 고려한 CB 벽체의 혼합량은 Cement의 경우 $200\text{kg}/\text{m}^3$ 이상, Bentonite의 경우에는 $50\text{kg}/\text{m}^3$ 이상으로 하는 것이 적절하다고 판단된다.

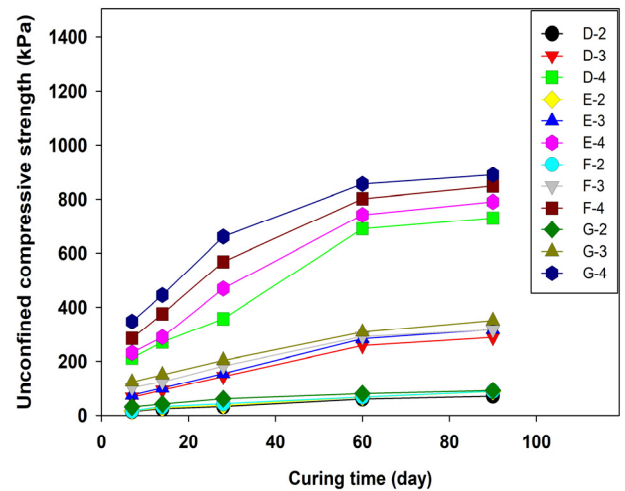
4.2 일축압축강도시험 결과 및 분석

일축압축강도시험은 Bleeding 시험을 통해 확인된 Cement 혼합량 $100\text{kg}/\text{m}^3$, Bentonite 혼합량 $40\text{kg}/\text{m}^3$ 이하인 경우를 제외하고 실시하였으며, 각각의 혼합량, 재령일 및 양생 방법에 따른 시험결과는 Fig. 2와 같다.

모든 경우에서 양생기간이 경과함에 따라 일축압축강도



(a) In case of moisture curing condition



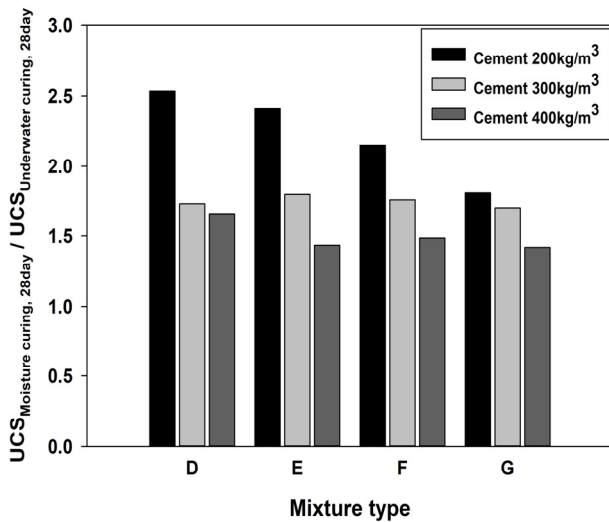
(b) In case of underwater curing condition

Fig. 2. Unconfined compression strength according to the mixing amount and curing time

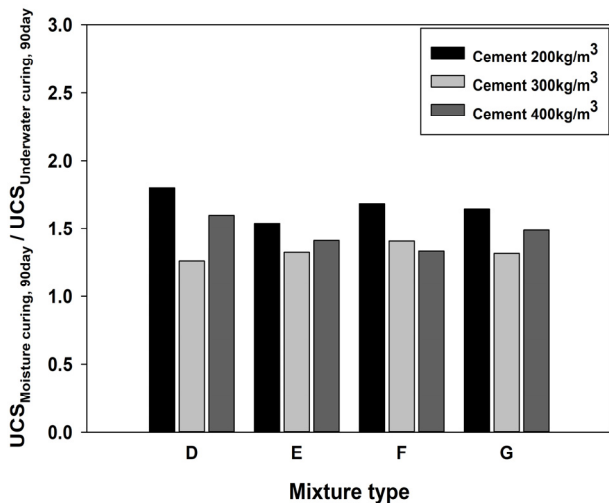
는 증가하는 것으로 나타났으며, 대부분의 경우에서 양생 60일까지 비교적 큰 강도증진을 보였으나, 양생 60일부터 90일까지의 강도증진은 미미한 것으로 분석되었고 이러한 경향은 Cement 혼합량이 증가할수록 더욱 뚜렷하게 나타났다.

또한, 혼합량 변화에 따른 일축압축강도는 Cement와 Bentonite의 혼합량이 증가할수록 강도 또한 증가하는 것으로 나타났으며, Bentonite 혼합량 증가보다 Cement 혼합량이 증가하는 경우에 더욱 뚜렷한 강도 증가가 나타났다. 특히 Cement의 혼합량이 높을수록 Bentonite 혼합량 증가에 따른 강도증진이 더욱 뚜렷하게 나타나, CB 벽체의 강도는 Bentonite 혼합량보다 Cement 혼합량이 더욱 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

양생방법에 따른 일축압축강도 분석결과는 Fig. 3과 같이 습윤양생을 실시한 경우가 수중양생에 비해 재령 28일에서



(a) Cured for 28 days



(b) Cured for 90 days

Fig. 3. Uniaxial compression strength ratio of CB cut-off walls according to the curing condition

1.42~2.53배, 재령 90일에서는 1.26~1.80배 정도 큰 강도로 나타나, 시간경과에 따라 양생방법에 의한 강도차는 조금씩 감소함을 알 수 있다.

또한, 재령 28일의 경우 Cement와 Bentonite의 혼합량이 증가함에 따라 양생방법에 따른 강도비는 감소하는 경향을 보였으나, 재령 90일의 경우에는 일정한 경향을 보이지 않았다.

4.3 투수시험 결과 및 분석

CB 벽체의 주요 기능인 투수성을 평가하기 위하여 강도 시험과 동일한 혼합 시료를 대상으로 변수위 투수시험을 실시한 결과는 아래 Fig. 4와 같다.

혼합량에 따른 투수계수는 $1.21 \times 10^{-5} \text{cm/sec} \sim 2.18 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 로 Cement 혼합량 200kg/m^3 , Bentonite 혼합량이 50kg/m^3 인 경우(D-2)를 제외한 모든 경우에서 본 연구 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 특히 Bentonite의 혼합량 60kg/m^3 을 기점으로 투수계수가 감소하는 것으로 나타났으며, 이러한 경향은 Cement의 혼합량이 적을수록 뚜렷하게 나타났다.

4.4 적정혼합량 산정

저수지 제체의 보수·보강용으로 활용하기 위한 CB 벽체의 적정혼합량 결정을 위한 시험결과를 종합하면, Bleeding 율의 경우 Cement 혼합량이 100kg/m^3 인 대부분의 경우와 Bentonite 혼합량이 40kg/m^3 이하인 모든 경우에서 본 연구의 기준을 상회하는 것으로 나타나, CB 벽체로 활용이 적합하지 않은 것으로 판단된다.

일축압축강도 평가결과는 모든 경우에서 최소기준강도를 만족하는 것으로 분석되었으나, Cement 혼합량이 300kg/m^3 이상인 모든 경우에서 본 연구의 최대기준강도를 상

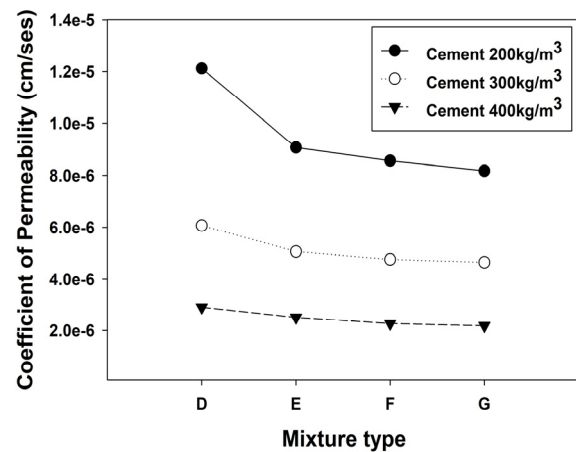


Fig. 4. Coefficient of permeability according to the mixing amount of cement and bentonite

회하는 것으로 나타났다. 또한, 투수성 평가결과는 Cement $200\text{kg}/\text{m}^3$, Bentonite $50\text{kg}/\text{m}^3$ 이 혼합된 경우를 제외한 모든 경우에서 본 연구의 기준 투수계수보다 낮은 투수계수를 보였다.

따라서, 이상의 결과를 종합하면 CB 벽체로 사용하기 위한 Cement와 Bentonite의 적정 혼합량은 Cement는 $200\text{kg}/\text{m}^3$, Bentonite는 $60\sim 80\text{kg}/\text{m}^3$ 인 경우가 가장 적합함을 알 수 있다.

5. 결 론

저수지 제체의 보수·보강을 위한 Cement-Bentonite 벽체의 적정혼합량을 도출하기 위하여 Cement와 Bentonite의 혼합량에 따른 CB 벽체의 공학적 특성을 평가한 결과 다음과 같다.

- (1) 혼합량에 따른 CB 벽체의 Bleeding율은 $3.06\sim 52.84\%$ 로 나타났으며, Cement 혼합량이 $100\text{kg}/\text{m}^3$ 인 대부분의 경우와 Bentonite 혼합량이 $40\text{kg}/\text{m}^3$ 이하인 모든 경우의 Bleeding율은 본 연구의 기준을 상회하는 것으로 나타나, 시공 시 재료분리 및 벽체의 수축 등으로 인해 품질관리가 어려워 CB 벽체로 활용이 적합하지 않은 것으로 판단된다.
- (2) Cement와 Bentonite의 혼합량이 증가함에 따라 일축압축강도도 증가하는 것으로 나타났으며, Bentonite 혼합량이 증가하는 경우보다 Cement 혼합량이 증가하는 경우에서 더 큰 강도증진을 보였다. 특히, Cement 혼합량이 높을수록 Bentonite 혼합량 증가에 따른 강도증가가 더욱 뚜렷하게 나타나, CB 벽체의 강도는 Bentonite 혼합량보다 Cement 혼합량에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.
- (3) 양생방법에 따른 CB 벽체의 일축압축강도 변화는 습윤양생을 실시한 경우가 수증양생을 실시한 경우에 비해 재령 28일에서 1.42~2.53배, 재령 90일에서는 1.26~1.80배 큰 압축강도를 보였으며, 양생방법에 따른 강도차는 재령일이 늘어날수록 작아짐을 알 수 있다.
- (4) 혼합량에 따른 투수계수는 $1.21\times 10^{-5}\text{cm}/\text{sec}\sim 2.18\times 10^{-6}\text{cm}/\text{sec}$ 로 Cement 혼합량 $200\text{kg}/\text{m}^3$, Bentonite 혼합량이 $50\text{kg}/\text{m}^3$ 인 경우를 제외한 모든 경우에서 본 연구 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 특히 Bentonite의 혼합량 $60\text{kg}/\text{m}^3$ 을 기점으로 투수계수가 감소하는 것으로 나타났으며, 이러한 경향은 Cement의 혼합량이 적을수록 뚜렷하게 나타났다.
- (5) 이상의 결과를 종합하여 볼 때 저수지 제체의 보수·보강을 위한 Cement-Bentonite 벽체의 적정혼합량은 Cement $200\text{kg}/\text{m}^3$, Bentonite $60\sim 80\text{kg}/\text{m}^3$ 인 경우가 가장 적합한 것으로 판단된다.

References

1. Bureau of Reclamation (2014), Chapter 16 : cutoff walls, U.S. Department of the Interior, Design Standards No. 13 Embankment Dams, pp. 35~40.
2. Cho, D. S., Kim, Y. S., Kwak, D. H., Kim, H. W. and Jo, H. J. (2019), A basic study on the development of ground stability for reinforcement in aging reservoir, Korean Geosynthetics Society, Conferenne fall 2019, pp. 81~28 (In Korean).
3. Choi, H. G. (2015), A study on changes in the design flood of irrigation reservoir, Graduate school of Ajou University, pp. 1~13 (In Korean).
4. Hwang, J. S., Kim, S. W., Jung, J. G., Lee, S. J., Oh, B. S. and Baek, S. C. (2016), Behavior characteristics of cement bentonite impervious walls related to mixing methods and curing time, Journal of the Korean Geo-Environmental Society, Vol. 17, No. 12, pp. 45~54 (In Korean).
5. Kim, S. W., Park, H. G., Woo, J. K. and Kim, H. T. (2014), SCB (Soil-Cement-Bentonite) slurry cutoff wall method for the waterproof and reinforcement of dam body, Publication of Korean Geotechnical Society, Vol. 30, No. 5, pp. 8~14 (In Korean).
6. Korea Rural Research Institute (2020), Statistical yearbook of land and water development for agriculture 2019, Korea Rural Community Corporation, pp. 316~495 (In Korean).
7. Oh, B. S. (2015), Material characteristics and field application assessment for reinforced bentonite slurry impervious wall, Graduate school of SangMyung University, pp. 10~24 (In Korean).
8. Stephan Jefferis (2012), Cement-Bentonite slurry systems, ASCE, Proceedings of the Fourth International Conference on Grouting and Deep Mixing, pp. 1~24.