

캐나다에서의 콘크리트 研究動向

韓 基 成

〈仁荷大學校 教授〉

캐나다 現況

1. 머 리 말

1991年 8月 4일부터 9일까지 1週日間 캐나다의 Montreal市에서 콘크리트의 耐久性에 관한 第2回 CANMET/ACI 國際會議가 개최되어 崔相紇 教授와 함께 3편의 論文을 발표하기 위하여 참석하였으며 캐나다에서의 콘크리트에 관한 研究動向을 접할 기회를 얻을 수 있었다.

〈표-1〉에 캐나다의 現況에 대하여 기술하였거니와, 캐나다는 全國土의 넓이가 997만km²로서 蘇聯 다음가는 世界 第2位の 廣大한 나라이다. 南쪽은 美國과의 接경인 北緯 45°쯤 부터 北極 가까이 까지 南北의 길이 4,634km, 東西는 西徑 53°부터 141°까지 5,154km에 걸쳐 있다. 人口는 약 2,700만명으로 人口密度가 매우 낮다. 國土는 주로 南部(北緯 45°~50°) 쪽이 많이 開發되어 있고, 대부분의 人口는 東南部에서 生活하고 있다.

東南部쪽에 위치하고 있는 Quebec州의 Montreal市는 人口 약 300만명으로 Canada에서 두번째로 큰 都市이다. Montreal의 겨울은 10월 下旬 부터 4월 中旬까지 약 6개월간의 結氷期를 갖는다. 한 겨울에는 零下 30~40℃까지 내려가는 것이 보통이며 1m 이상의 눈이 내리는 경우가 많다.

國民1人當 GNP는 약 1만5천달러로 生活水準은 매우 높은 편이며 平和롭고 安定된 生活相을 볼 수 있었다. 시멘트 産業은 産業 및 消費에 있어서나 輸出入量 등도 거의 일정한 量을 유지하여 큰 변동이 없음을 보여주고 있다(〈표-2〉). 1人當 시멘트 消費量은 약 350kg으로 우리나라의 3분의 1

〈표-1〉

項 目	內 容
面 積	997만km ² (東西 5,154km, 南北 4,634 km)
標 準 時	5種(5時間30分)
人 口	약 2,700만명(인디언 50만명)
首 都	Ottawa(Ontario) 77만명
主要都市	Toronto(320만), Montreal(290만), Vancouver(140만), Edmonton(69만), Calgary(63만), Winnipeg(60만), Quebec(59만)
言 語	英語(60%), 佛語(25%), 기타
宗 教	天主教(48%), 改新教(41%), 기타
主要産業	製紙, 自動車, 金屬, 西北部資源開發
G N P	1人當 약 1만5천달러

에 불과하다.

시멘트 工場의 生産規模도 비교적 小規模의 것들이 많으며(〈표-3〉) 가장 큰 規模의 것이 年産 180만톤 규모이다. 킬른의 形式도 濕式킬른이 11基로서 1/3이나 되며 乾式킬른 중에도 舊式에 속하는 long kiln이 11基이고 SP kiln은 9基에 불과하다(〈표-4〉).

이와 같이 에너지 節約型인 새로운 製造施設을 갖추지 않고 있는 것은 여러가지 事情이 있기는 하겠지만 에너지 問題가 그다지 심각하지 않고 새로운 變천에 대하여 민감하지 않은 때문인 것 같다. 그러나 國土가 대부분 寒冷地에 속하고 많은 눈이 내리는 氣候 때문에 콘크리트의 耐久性에 대하여는

캐나다의 시멘트 生産, 輸入, 輸出 및 消費量

〈표-2〉 ('000 ton)

Year	Production	Import	Export	App. Consumption	
				Total	Per Capita(Kg)
1986	10,706	490	3,204	7,712	304
1987	12,608	586	3,616	9,069	354
1988	12,560	1,002	3,685	9,241	357
1989	12,152	600	3,350	9,304	355
1990	11,622	450	3,500	8,623	325

캐나다 시멘트 工場의 生産規模 分布

〈표-3〉

Capacity ('000)	Number of plants	Production of clinker	% Share in production
Up to 200	4	675	5.5
200- 500	3	1255	10.3
500-1,000	9	6233	50.9
1,000-1,500	2	2284	18.6
1,500-2,000	1	1800	14.7
Total	19	12247	100.0

킬른의 形式과 生産能力 比較

〈표-4〉

Type of kilns		Number of kilns	% Share in production
Dry	Long	11	19.3
	Short	1	1.6
	SP	9	51.3
Wet		11	27.8
Total		32	100.0

學界와 産業界에서 많은 研究를 기울이고 있는 것을 볼 수 있었다. 여기서는 이번 會議를 통하여 發表된 論文을 중심으로 캐나다에서 이루어지고 있는 콘크리트의 研究動向에 대하여 살펴보기로 한다.

2. 콘크리트의 耐久性에 관한 CANMET/ACI 國際會議

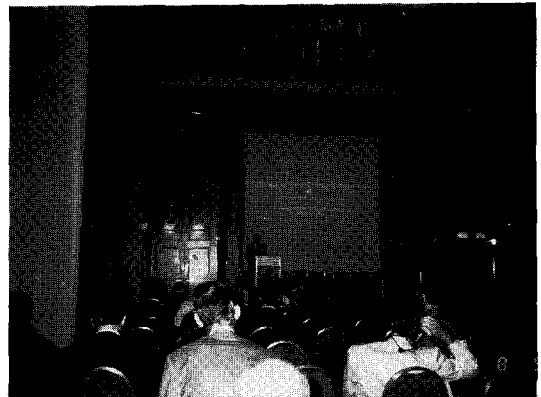
이 會議는 1987年 4月 美國의 Atlanta市에서 第1回 會議가 개최된 이래 두번째 열린 것으로 4年마다 개최되는 콘크리트의 耐久性에 관한 研究關係를 주로 다루고 있다.

이번 會議에서는 23개국에서 109편의 論文이 발

표되었고, 20여편의 포스터가 展示되었으며 25개국에서 300여명이 참가하였다. 이들 論文은 32 session으로 나뉘어 발표되었고, 각 session은 12分野로 分類되었다(〈표-5〉).

〈표-5〉 Sessional Meetings(32) and Presentations(109)

1. Plenary session (1-4)
2. Freezing and thawing/Deicing salt scaling (3-14)
3. Chloride-ion penetration (5-16)
4. Alkali-aggregate reactions (2-6)
5. Fibre reinforcement (3-12)
6. Performance of concrete (1-3)
7. Cathodic protection (1-4)
8. A. Litvin symposium on shotcrete (1-3)
9. Carbonation (1-4)
10. Sulphate attack (2-7)
11. General (11-35)
12. Closing session (1-3)



〈사진-1〉 論文 發表會議



〈사진-2〉 포스터 展示會

3. 캐나다에서의 콘크리트 研究動向

109편의 論文중 캐나다인들에 의해 발표된 21편을 研究內容별로 分類하여 題目과 研究者의 소속 및 이름을 기술하였다(〈표-6〉).

이들 캐나다인들에 의해 이루어진 研究를 보면 역시 자기네들이 처해있는 氣候, 環境條件들 때문에 일어나는 각종 콘크리트의 劣化現象을 防止하거나 改善하기 위한 것들이 주를 이루고 있음을 볼 수 있다. 즉 캐나다가 위치하고 있는 寒冷氣候에 대처하기 위하여 凍結融解 耐久性에 관한 것, 많은 눈에 대처하기 위하여 사용하는 解氷鹽에 따른 콘크리트 표면의 scaling 現象을 방지하기 위한 것, 광대한 지역에 걸쳐있는 海岸, 河川 등에서의 鹽素이온 및 黃酸鹽이온에 의한 浸蝕을 경감시키기 위한 것, 骨材의 選定에 있어서 알칼리 骨材反應에 대한 대처 및 기타 등으로 매우 광범위한 研究를 하고 있는 것을 알 수 있다.

이들 콘크리트 研究에 있어서 耐久性을 향상시키기 위한 방법으로는 混合材로서 fly ash, silica fume 및 微粉末 水碎 slag를 적당량 混合하거나, 混和劑로서 高性能 減水劑 및 空氣連行 AE劑의 添加 또는 高分子物質 등을 첨가하여 結合強度와

浸蝕抵抗性を 높이도록 하는 研究가 이루어지고 있다. 그중에서 대표적인 것 몇가지를 소개해 보기로 한다.

1) 각종 시멘트로 제조한 高強度 콘크리트의 解氷鹽스케일 抵抗性

시멘트(1종, 3종), 混合材(silica fume), 骨材(granite, limestone), W/C(0.30, 0.26), spacing factor(~200, >500 μ m), 養生期間(1, 3, 7, 28日) 등을 달리하여 17種의 콘크리트 試片을 얻었으며 高強度 콘크리트의 解氷鹽 스케일 抵抗性を 검토하였다.

3종 시멘트와 石灰石 및 花崗岩 骨材를 사용한 試片은 養生期間, silica fume의 양, spacing factor값에 관계없이 모두 스케일 抵抗性이 우수하였다. 1종 시멘트에 silica fume을 混合한 試片은 解氷鹽이 존재할 때 凍結에 대한 스케일 抵抗이 좋았다. 모든 콘크리트에 있어서 50cycle 후의 重量감소는 0.75kg/m² 이하였으며, 150cycle 후는 2kg/m² 이하였다.

2) 콘크리트 被覆層의 浸蝕損傷에 대한 抵抗性

貯水池 排水口, 슈트, 슬라브, 水門밀의 콘크리

〈표-6〉

Canadian presentations (21)

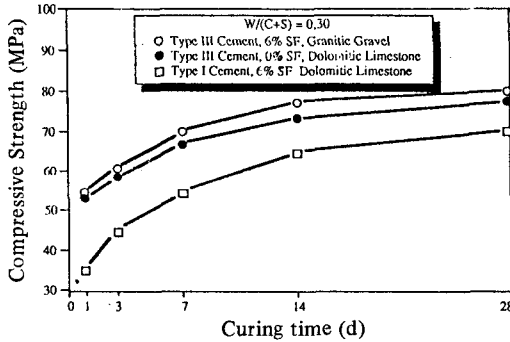
1. PLENARY SESSION (1)

- Some aspect of durability of high-volume ASTM class F (low calcium) fly ash concrete.
V.M. Malhotra, G. G. Carette, A. Bilodeau and V. Sivasundaram, CANMET, Ottawa, ON Canada.

2. FREEZING AND THAWING/DEICING SALT SCALING (5)

- Deicer salt scaling resistance of roller-compacted concrete pavements.
J. Marchand, J. Boisvert et M. Pigeon, Universite Laval, Ste-Foy, PQ Canada.
H.L. Isabelle Lafarge Canada Inc., Montreal, PQ Canada.
- Deicer salt scaling resistance of high strength concretes made with different cements.
R. Gagne et M. Pigeon Universite Laval, Ste-Foy, PQ Canada.
P.C. Aetcin, Universite de Sherbrooke, Sherbrooke, PQ Canada.
- Influence of curing and drying on salt scaling resistance of fly ash concrete.
A. Bilodeau, G.G. Carette and V.M. Malhorta, CANMET, Ottawa, ON Canada.
W.S. Langley, W.S. Langley & Assoc. Ltd., Dartmouth, NS Canada.
- Precision statement for the ASTM C457 microscopical determination of the spacing factor and other characteristic of the air-void system in hardened concrete.
R. Pleau and M. Pigeon, Laval University, Quebec City, PQ Canada.
- Acoustic emissions of mortar subjected to freezing and thawing.
H. Shimada and K. Sakai, Civil Engineering Research Institute, Sapporo, Japan.
G.G. Livan Institute for Research in Construction/NRC Ottawa, ON Canada.

3. CHLORIDE-ION PENETRATION (2)
- Durability properties of overlays for erosion-damaged concrete.
J. Mirza, Institute de Recherche d'Hydro-Quebec, Varennes, PQ Canada.
 - Durability predictions from rate of diffusion testing, normal portland cement, fly ash, and slag concrete.
K.E. Philipose, Atomic Energy of Canada Ltd., Chalk River, ON Canada.
R.F. Feldman and J.J. Beaudoin, Institute for Research in Construction/NRC, Ottawa, ON Canada.
4. ALKALI-AGGREGATE REACTIONS (3)
- Comparison of rapid test methods for detecting alkali-reactive aggregates to field performance and long-term standard test data.
R.D. Hooton, University of Toronto, Toronto, ON Canada.
C.A. Rogers, Ontario Ministry of Transportation, Toronto, ON Canada.
 - Expansion libres et contrainte developpee par les reactions alcalis-granulats.
B. Durand, R. Roux et J. Houde, E'cole Polytechnic de Montreal, Montreal, PQ Canada.
A. Blanchette, Les Laboratoires Ville Marie, Inc., Laval, PQ Canada.
 - Chemical treatments and additives to reduce alkali reactivity: successes and failures.
P.P. Hudes, University of Windsor, Windsor, ON Canada.
5. FIBRE REINFORCEMENT (1)
- Durability of carbon fiber reinforced cements in acidic environments.
N. Banthia and J. Sheng, Laval University, Ste-Foy, PQ Canada.
6. CATHODIC PROTECTION (1)
- Cathodic protection of the Arthur laing bridge.
N. A. Cumming, B.H. Levelton & Associates Ltd., Vancouver, BC Canada.
T.F. Rogers, N.D. Lea Consultants Ltd., Vancouver, BC Canada.
A.P. Joseph, Public Works Canada, Vancouver, BC Canada.
7. A. LITVIN SYMPOSIUM ON SHOTCRETE (1)
- Freeze-thaw durability of steel and polypropylene reinforced shotcretes: a review.
D.R. Morgan, Hardy BBT Ltd., Burnaby, BC Canada.
8. SULPHATE ATTACK (3)
- Effect of sulfates on concrete containing fly ash.
K.W. Nasser and P.S.H. Lai, University of Saskatchewan, Saskatoon, SK Canada.
 - Sulphate resistance of mortars made with high-volumes of class F. fly ash or granulated blastfurnace slag-progress report.
E. Douglas, E. Van Huyssteen and V.M. Malhotra, CANMET, Ottawa, ON Canada.
 - Concrete floor heave due to sulfating of pyritic shales.
P. Lacroix, Les Laboratoires Ville Marie Inc., Laval, PQ Canada.
F. Cote, E'cole Polytechnique de Montreal, Montreal, PQ Canada.
9. GENERAL (3)
- Durability of structural lightweight concrete.
T.A. Holm, Solite Corp., Richmond, VA, U.S.A.
T.W. Bremner, University of New Brunswick Fredericton, NB Canada.
 - Concrete deterioration in three bridges in the Sherbrooke area.
S.L. Sarkar, P.C. Aetcin, P. Lamothe et.
B. Fournier, Universite de Sherbrooke, Sherbrooke, PQ Canada.
 - Durability of Prematurely frozen concrete.
P. Lacroix, Les Laboratoire Ville Marie Inc., Montreal, PQ Canada.
J. Houde, Ecole Polytechnique, Montreal, PQ Canada.
10. CLOSING SESSION (1)
- Deterioration of parking structures.
G.G. Litvan, Institute for Research in Construction/NRC Ottawa, ON, Canada.



〈그림-1〉 Evolution of the compressive strength

트 블럭 등 高流速下의 불규칙 表面은 化學的 浸蝕에 의한 劣化 때문에 많은 被覆工事が 이루어진다.

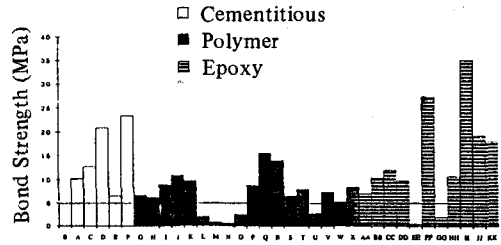
여기서는 cement grout, polymer mortar (SBR mortar, acrylic mortar), epoxy mortar 에 대한 浸蝕抵抗과 耐久性에 대한 試驗을 하였다. epoxy mortar의 結合強도와 浸蝕抵抗성은 매우 우수하였으나 다른 物理的 性能은 저하하였다. 가혹한 조건하에서의 補修工事に 적합한 것은 cement grout와 SBR mortar 등이 바람직할 것이다.

3) 보통 포틀랜드 시멘트, 플라이 애쉬 및 슬래그 콘크리트에 대한 擴散速度 試驗으로부터 耐久性의 豫測

低水準 放射能 廢棄物의 地下貯藏庫 IRUS (Intrusion Resistant Underground Structure) 를 建設하기 위한 基礎研究로 計劃된 것이다.

콘크리트 耐久性의 劣化速度는 주로 活性이온인 鹽素이온과 黃酸鹽이온이 콘크리트속으로 침입하는 速度에 달려있기 때문에 이들 이온의 擴散速度를 測定하였다. 試片은 보통 포틀랜드 시멘트, fly ash, silica fume, blast furnace slag 등과 W/C (0.35~0.60) 으로 변화시켜 製조하였으며 NaCl 과 Na₂SO₄溶液에 浸漬하여 시험하였다.

Cl⁻이온의 침투속도는 SO₄²⁻이온보다 상당히 높게 나타났으나 混合材를 混合함으로써 침투속도가 많이 감소하였다. 試片(cement 22%, slag 75%, silica fume 3%)을 IRUS 환경조건에서 시험하여 얻은 數値로 線回歸分析한 결과 이온이 75mm까



〈그림-2〉 Bond strength of cementitious grouts, polymer-modified cement based overlays and epoxy mortars. B is the reference standard cement mortar

Longevity prediction for concrete systems (IRUS Environment (Bath 13), 16 months of testing)

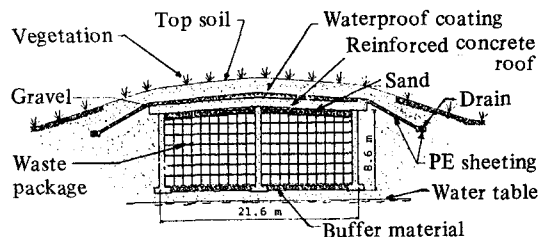
〈표-7〉

Cement system	Time in years			
	Mix 1 w/c 0.35	Mix 2 w/c 0.42	Mix 3 w/c 0.5	Mix 4 w/c 0.6
NPC Concrete (S ₁)	43 (27)	43 (24)	10 (6)	13 (9)
Fly Ash+S.F. (S ₄)	197 (179)	151 (132)	116 (84)	50 (36)
Slag + S.F. (S ₅)	2282 (1974)	1526 (1286)	471 (395)	950 (831)

Note: Figures in bracket shows longevity prediction with 90% confidence limit.

지 침투하는데는 1000年 이상 걸리는 것으로 예측되었다.

放射能 廢棄物貯藏庫(IRUS) 構造物의 斷面圖를 〈그림-3〉에 나타내었다. 貯藏庫는 地下水面으로부터 적어도 1m 上部에 基礎를 해야 하며 排水路가 없는 언덕에 설치한다. 壁의 두께는 0.6m, 지붕의 두께는 1m 이상의 鐵筋콘크리트로 해야 하며, 지붕은 얼지 않도록 충분한 흙을 덮어야 한다. 벽과 지붕은 放射能 核種의 移動을 방지하는 중요



〈그림-3〉 IRUS disposal facility (cross-section)

한 중요한 障壁이므로 콘크리트의 耐久性이 충분히 보장되어야 한다.

放射能廢棄物貯藏庫의 機能을 유지하기 위해서는 障壁의 構造物인 鐵筋콘크리트의 劣化現象을 방지 또는 감소시켜야 한다. <그림-4>는 콘크리트의 劣化現象에 대한 系統圖이다. 地下工事이기 때문에 溫度가 크게 영향을 주는 것은 아니지만 凍結融解 浸蝕, 溫度應力, 收縮龜裂 및 알칼리 骨材反應 등에 기인하는 物理的 變化, 設計上의 應力 때문에 일어나는 微細龜裂 및 鹽化物의 浸入 등에 기인하는 鐵筋의 腐蝕, 黃酸鹽, 窒酸鹽, 鹽化物 등의 化學的 浸蝕 및 콘크리트의 溶出, 炭酸化 등에 기인하는 崩괴 또는 石灰의 溶解 등이 일어나게 된다. 이들 요인은 콘크리트의 龜裂, 強度低下 및 構造的 劣化를 초래하고 따라서 水分의 浸入을 증가시키게 되며 결국은 地下水로의 放射能 核種의 移動을 증가시킨다.

4) 酸性環境하에서 炭素纖維補強 시멘트의 耐久性

無機酸(HNO₃, H₂SO₄) 환경하에서 補強用 炭素纖維(0, 1, 3, 5%)와 混合材 silica fume(20, 40%)를 혼합하고, W/C(0.3)으로 제작한 硬化體의 28日, 90日에 있어서의 強度 및 韌性 등 耐久性을 測定하였다. 非補強 試片들의 機械的 特性은 상당히 劣化되었으나 炭素補強 시멘트 試片들은 90日 후에도 強度 및 韌性이 劣化되지 않았다.

5) 플라이 애쉬를 混合한 콘크리트에 미치는 黃酸鹽의 영향

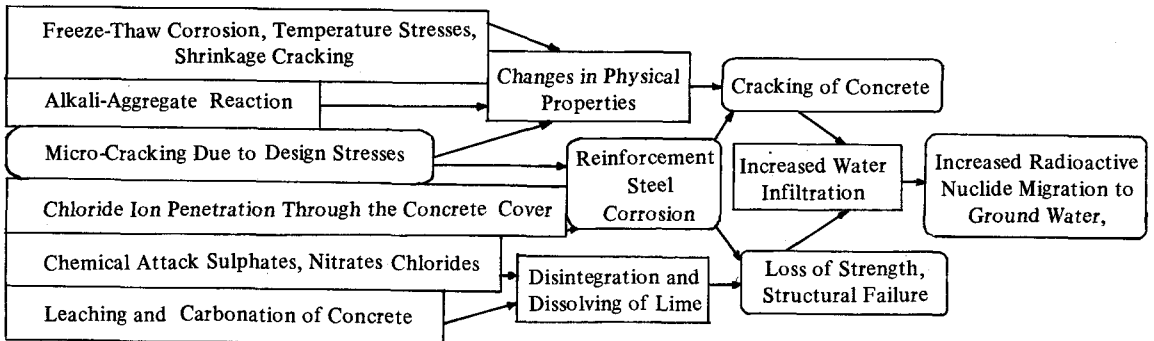
1種 및 5種 시멘트에 fly ash를 0, 20, 35, 50 %씩 混合한 試片을 5% Na₂SO₄와 0.5% MgSO₄ 溶液에 浸漬하여 길이 및 質量變化와 黃酸鹽의 消耗量을 測定함으로써 黃酸鹽 浸漬의 영향을 검토하였다. 한편 페이스트의 미세구조에 미치는 영향을 SEM으로 관찰하였다.

fly ash를 混合함으로써 黃酸鹽 浸蝕에 의한 팽창현상을 감소시킬 수 있었으며 50% 혼합한 試片이 抵抗性이 가장 높았다. 콘크리트안에서 fly ash의 pozzolan 作用으로 ettringite의 生成量이 감소되고 黃酸鹽 抵抗性을 높여주는데 중요한 역할을 하였다. 한편 ettringite 結晶은 試片 表面 가까이 있는 空隙안으로 침투해 들어가는 것을 관찰하였다.

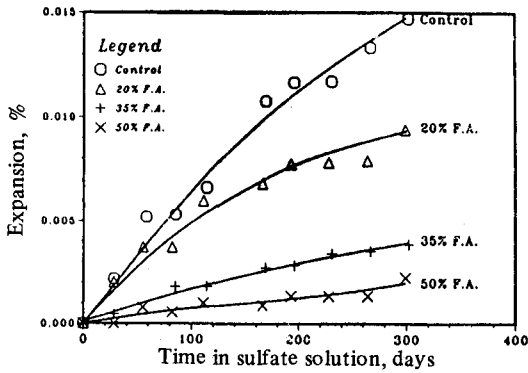
4. 맺 음 말

이번 會議에 참가한 사람들은 거의가 土木分野에서 콘크리트를 專攻하는 사람들이었고 따라서 우리와 같이 시멘트를 專攻하는 입장에서 볼 때, 친숙할 것 같으면서도 매우 소원함을 느끼지 않을 수 없었다. 시멘트와 콘크리트, 이들은 절대 不可分離의 관계인 것이다. 그러나 콘크리트인들이 과연 얼마나 시멘트를 알고 이들의 性能을 충분히 발휘하도록 이용하고 있는지, 시멘트인들은 과연 시멘트가 이용되는 각종 콘크리트의 用途에 맞게 시멘트의 性能을 조정하고 있는지 반성해 보지않을 수 없다.

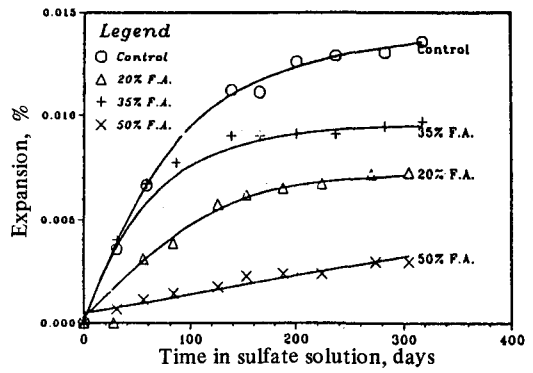
콘크리트 構造物은 결코 우리 當代만을 위한 것이 아니다. 代代孫孫 우리의 다음대를 위한 것일진



<그림-4> Concrete failure tree



(a) Type 10 cement



(b) Type 50 cement

〈그림-5〉 Effect of Fly Ash on Expansion of Concrete

대, 시멘트인이나 콘크리트인이 다같이 共同目標을 위하여 노력해야 함을 콘크리트 會議에 참가하여 다시한번 생각하였다.

會議를 마친뒤 Montreal市 교외에 위치한 올림픽 경기장을 돌아보았으며, 이것은 1976년에 개최되었던 올림픽 경기장을 위하여 建立된 7만명의 관眾석을 갖춘 콘크리트 構造物로서 캐나다에서 자랑하는 것 중의 하나이다. 또한 Montreal市에서 가장 높은 곳에 위치한 St. Joseph Cathedral은 1924년에 着工하여 1967년에 完工한 聖堂으로 花崗岩과 鐵筋콘크리트로 建立된 거대한 建物이었다.

이 聖堂은 다른 聖堂들과는 달리 現代的 建築方式을 많이 도입한 독특한 特色을 지니고 있었다.

Montreal에서 약 200km 東쪽에 있는 Sherbrooke University를 訪問하였다. 탁트인 空間, 조용하고 平和스런 周圍環境, 정말 대학의 참모습을 보는 듯하였다. 土木科에서의 콘크리트 研究施

設은 大規模적이고 거의 완벽하였으며, 특히 化學科와 共同研究를 수행함으로써 콘크리트의 構造的인 性能과 시멘트의 化學的인 性能을 相互補完的으로 研究하고 있는 것은 매우 인상적이었다.

콘크리트에 관한 國際會議에 참석하여 다른 나라에서의 콘크리트 研究動向을 돌아보고 우리의 現實을 되돌아 보는 좋은 契機가 되었다. 시멘트 자체뿐만 아니라, 시멘트가 직접 사용되는 콘크리트에 대한 종합적인 關心度를 높여야 함이 急先務이겠다. 각종 用途에 적합한 콘크리트의 性能, 여러가지 조건하에서의 콘크리트의 耐久性, 이들과 관련된 각종 材料 등에 대한 研究를 콘크리트인들과 함께 共同으로 수행해야 하는 필요성을 실감하였다.

우리의 시멘트 심포지엄도 앞으로는 시멘트-콘크리트 심포지엄으로 개편하여 공동으로 개최해 나감이 바람직하리라 생각한다.



〈사진-3〉 St. Joseph Oratory



〈사진-4〉 Sherbrooke University