

ความคงทนคอนกรีตสำหรับงานทาง

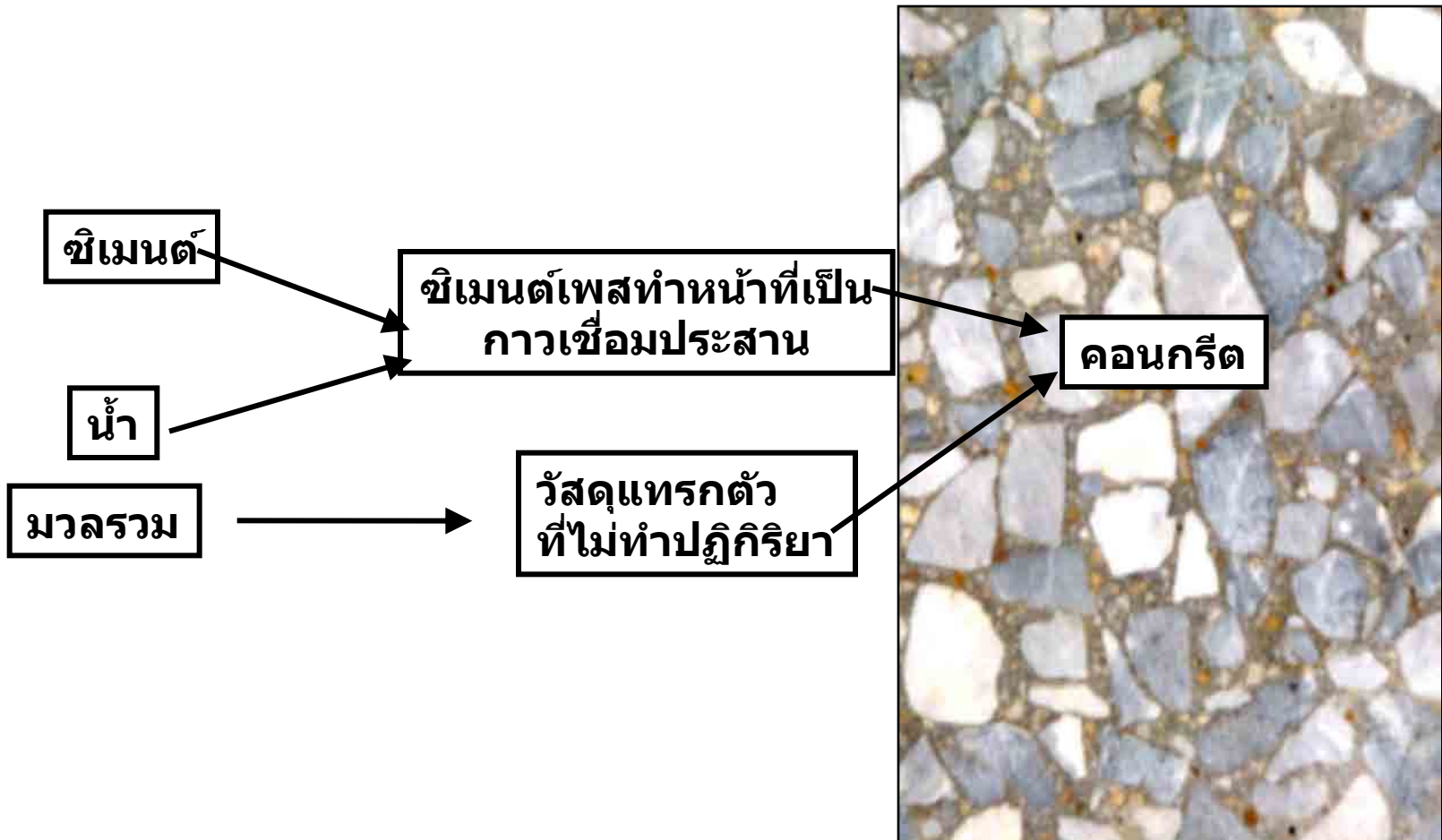
Durability of Concrete Pavement/ Road

ศักรินทร์ เหลืองกำจร
ผจก นวัตกรรมผลิตภัณฑ์
ฝ่ายนวัตกรรมและเทคโนโลยี
บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด

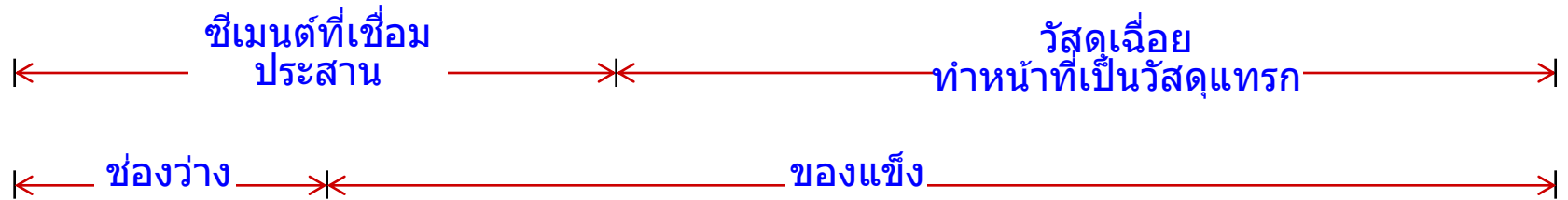
- คอนกรีตเบื้องต้น
- ปัญหาและการเสื่อมสภาพของคอนกรีต
- ปัจจัยที่ส่งผลต่อความคงทนของโครงสร้างคอนกรีต
- แนวทางการใช้งานคอนกรีตให้เหมาะสมกับสภาวะแวดล้อม
- มาตรฐานการออกแบบคอนกรีตเพื่อความทนทานของงานทาง
- ถาม-ตอบ

คอนกรีต

คอนกรีตจัดเป็นวัสดุหลายเฟสที่มีความพรุน เกิดจากการผสมวัสดุหลักคือ ซีเมนต์ หินทราย และน้ำ โดยทั่วไปประกอบด้วย



องค์ประกอบภายในคอนกรีตหนึ่งหน่วย

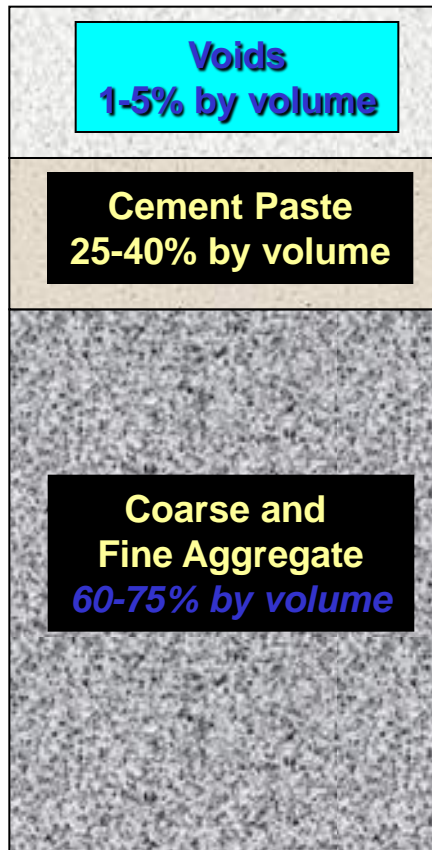


จุดนี้สามารถผันแปรตามความสามารถในการทำปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์และน้ำ และสภาวะแวดล้อมที่คอนกรีตสัมผัส

โดยทั่วไปแบ่งที่ขนาดโตสุดของมวลรวมที่ 5 มม.

คอนกรีตจัดเป็นวัสดุผสมหรือคอมโพสิตหลายเฟส

ในระหว่างทำการผสมคอนกรีต ลำเลียงเทลงแบบ จี้เขย่าตลอดจนการบ่มคอนกรีต จะเกิดช่องว่างและฟองอากาศขึ้นระหว่างเฟสของซีเมนต์และมวลรวม



อากาศจากการผสมคอนกรีต ลำเลียงเทลงแบบ และจี้เขย่าควรมีค่าน้อยที่สุด เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติความคงทนของคอนกรีตและกำลังอัด

แรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์เพสต์และมวลรวมควรมีค่ามากที่สุด เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติความคงทนและกำลังอัดของคอนกรีต



*** คุณสมบัติและปริมาณของช่องว่างในคอนกรีตจะเป็นตัวบ่งบอกกำลังและความคงทนของคอนกรีต

สภาวะของคอนกรีต

- คอนกรีตสดอยู่ในสภาวะเหลว (Fresh state)
- คอนกรีตในสภาวะพลาสติก (Plastic state)
- คอนกรีตในสภาวะอายุเริ่มต้น (Early age state)
- คอนกรีตแข็งตัวแล้ว (Hardened state)
- คอนกรีตในสภาวะอายุยาวนาน (Long term state)

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในงานก่อสร้างคอนกรีต

- ❖ คำนึงถึงสมรรถนะคอนกรีตในทุกสภาวะ (Overall Performance)
- ❖ ความสามารถในการก่อสร้าง (Constructability)
- ❖ สภาวะแวดล้อมและปัจจัยที่คอนกรีตต้องเผชิญตลอดอายุการใช้งาน (Exposure Conditions)
- ❖ ความเข้ากันได้กับสภาพแวดล้อม (Environmental Friendly Natural Resources - พลังงาน, ทรัพยากรธรรมชาติ)
- ❖ ต้นทุน (การก่อสร้าง, การบำรุงรักษา และสิ่งแวดล้อม)



คุณสมบัติคอนกรีตตลอดอายุการใช้งาน

คุณสมบัติคอนกรีตตลอดช่วงอายุการใช้
งาน

Fresh

Plastic

Early Age

Hardened

Long term

-Workability

- Bleeding

- Settlement

- Plastic shrink

- Setting time

- Temperature

- Auto shrink

- Early strength

- f_c

- f_t

- f_r

- E_c

- n

Durability

- Drying shrink

- Cl Corrosion

- Carbonation

- AAR

- Sulfate attack

- Acid attack

- Freeze-Thaw

- Erosion

Others

- Creep

- Fatigue

ความต้องการของคอนกรีตสด

คอนกรีตสดต้องสามารถไหลเต็มเต็มได้ทั่วแบบหล่อ
เนื่องจากคุณสมบัติคอนกรีตเป็นตัวแปรสำคัญ
ที่ส่งผลต่อคุณภาพของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

คอนกรีตสด

- คอนกรีตสดต้องมีความสามารถในการทำงานที่เพียงพอต่อการไหลเข้าแบบและสามารถเทผ่านเหล็กเสริมได้โดยไม่เกิดการอุดตันตัวของมวลรวมหยาบ
- การอยู่ในสภาวะคอนกรีตสดต้องมียุ่ระยะเวลาเพียงพอต่อการทำงาน เนื่องจากคอนกรีตจะก่อตัวตามระยะเวลา (Slump loss) ซึ่งจะทำให้เทลงแบบและอัดแน่นได้ยากขึ้น
- ในการเทคอนกรีตลงแบบนี้้นนอกจากความสามารถในการทำงานคือการไหลเข้าแบบได้ดีแล้ว ต้องไม่เกิดการแยกตัวของคอนกรีตสดเกิดขึ้น (Segregation) และไม่เกิดการเยิ้มน้ำหรือที่เรียกว่า Bleeding
- การอัดแน่นของคอนกรีตต้องทำได้ง่ายและสามารถอัดแน่นได้เต็มที่ (Full compaction)
- ในขั้นตอนการแต่งผิวต้องมีความสามารถในการปาดแต่งผิวได้ดี กล่าวคือต้องมีปริมาณซีเมนต์เฟสและส่วนละเอียดเพียงพอในการแต่งผิวให้เรียบหรือขัดให้เกิดความมันได้ในกรณีที่ต้องการความแกร่งที่ผิวหน้า

ความต้องการของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

คอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

- คอนกรีตแข็งตัวแล้วควรมีความทนทานที่เพียงพอ สามารถทนต่อสิ่งแวดล้อมที่โครงสร้างคอนกรีตนั้นๆ สัมผัสได้
- คอนกรีตควรมีกำลังอัดตามที่ออกแบบไว้ เพื่อให้รับน้ำหนักทางโครงสร้างได้
- ในกรณีที่ต้องมีการรับน้ำหนักหรือการขัดสี ตลอดจนสารเคมี คอนกรีตควรมีพื้นผิวที่แข็งตัวแล้วเหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งอาจจะมีการเคลือบผิวด้วยวัสดุอื่นๆ เพื่อให้ทนทานต่อแรงขัดสี และสารเคมีได้

โดยทั่วไปแล้วกำลังอัดของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วจะเป็นปัจจัยหลักที่ใช้พิจารณาการใช้งานของคอนกรีต ซึ่งปกติคอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงขึ้นจะมีความคงทนมากขึ้นเช่นเดียวกัน

ความคงทนและความทนทานคืออะไร?

“ความสามารถของคอนกรีตในการทนต่อสภาวะแวดล้อมและสภาวะจากการใช้งาน จนกระทั่งถึงสภาวะที่โครงสร้างคอนกรีตเริ่มเสื่อมสลาย และต้องมีการซ่อมแซม”

ความทนทานของโครงสร้างนั้นขึ้นอยู่กับ การเลือกใช้วัสดุ คุณภาพของวัสดุ ภายใต้สภาวะ สิ่งแวดล้อมที่โครงสร้างต้องสัมผัสตลอดช่วงระยะเวลาการใช้งาน และยังขึ้นกับปัจจัย การทำงานก่อสร้างและการออกแบบอีกด้วย

ความเข้าใจของโครงสร้างคอนกรีตในการใช้งาน

***** คุณภาพของโครงสร้างคอนกรีตไม่ได้ขึ้นอยู่กับตัววัสดุคอนกรีตเพียงอย่างเดียวแต่ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ ประกอบกัน**

การออกแบบ

- การออกแบบโครงสร้าง, ความกว้างของการแตกร้าว
- รายละเอียดของแบบ เช่น ระยะเวลาเหล็กเสริม, รอยต่อ

วัสดุ

- คอนกรีต เหมาะสมกับสถานะแวดล้อมการใช้งาน ??
- เหล็ก มีคุณสมบัติตามกำลังที่ต้องการและไม่เป็นสนิม

การปฏิบัติงานก่อสร้าง

- การทำงานของคน
- แบบหล่อหรือปัจจัยจากการก่อสร้างอื่นๆ

การบ่ม

- ความชื้น
- อุณหภูมิ

การทดสอบและอุปกรณ์

คอนกรีตเป็นเพียงส่วนหนึ่งของการทำให้

โครงสร้างมีประสิทธิภาพ

โครงสร้างคอนกรีตที่มีประสิทธิภาพ
(High Performance Concrete Structure)

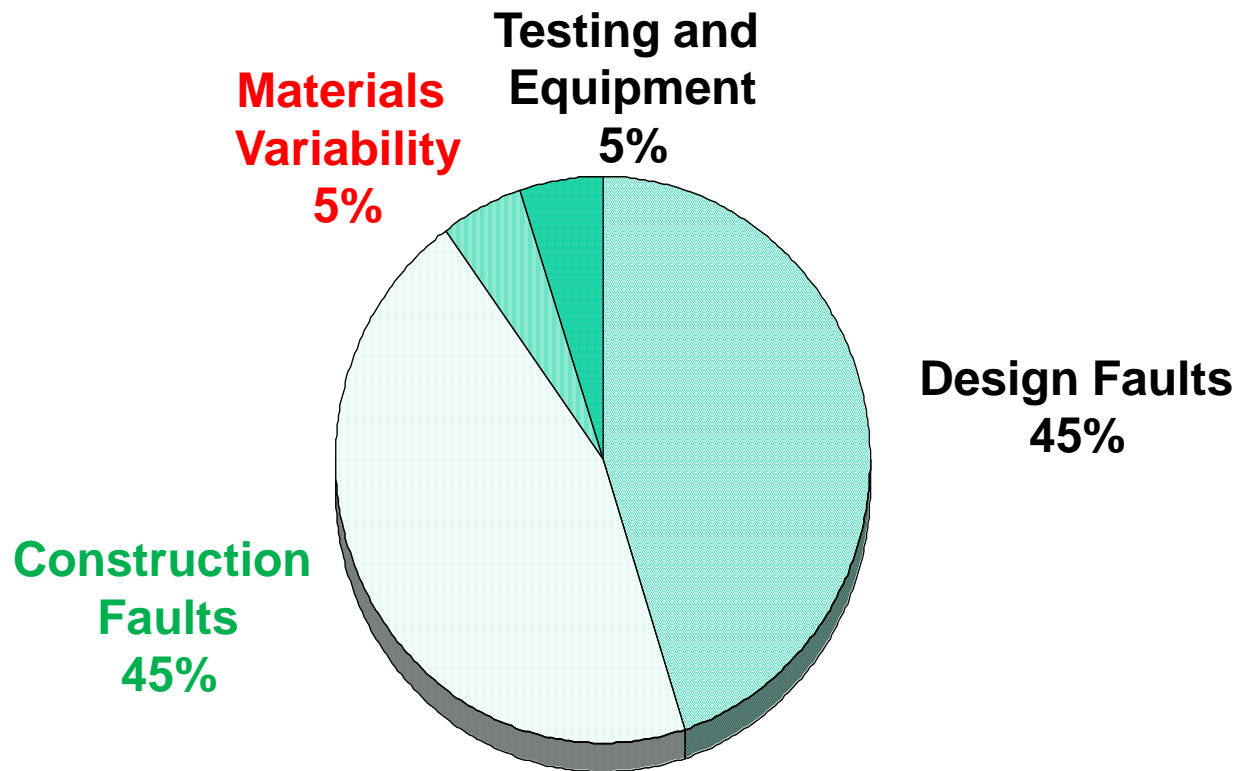
การเสื่อมสภาพของคอนกรีตและความคงทน

สาเหตุทางกายภาพ	สาเหตุทางเคมี	สาเหตุทางกล	สาเหตุทางชีวภาพ	สาเหตุรวม
<ul style="list-style-type: none"> • การหดตัวแบบแห้ง • การทรุดตัว • การหดตัวแบบพลาสติก • การแข็งตัวและละลายของน้ำในคอนกรีต 	<ul style="list-style-type: none"> • คาร์บอนเนชั่น • การกัดกร่อนโดยกรด • เสียหายจากซัลเฟต • ปฏิกิริยาระหว่างต่างกับมวลรวม 	<ul style="list-style-type: none"> • การขัดสี • การชะด้วยกระแสน้ำและกรวดทราย และการแตกตัวของฟองอากาศในน้ำ 	<ul style="list-style-type: none"> • การเสื่อมสภาพโดยตะไคร่, รา, รากพืชหรือแบคทีเรีย 	<ul style="list-style-type: none"> • การเกิดสนิมในเหล็ก



ความผันแปรของโครงสร้างคอนกรีต

จากสถิติในการก่อสร้างอาคารคอนกรีตที่ประเทศอังกฤษ ความผันแปรของโครงสร้างมีสาเหตุเกิดจาก 4 ปัจจัยหลัก โดยมีสัดส่วนดังนี้



University of Dundee, UK (2008)

ความสามารถเทได้ของคอนกรีตสดจะส่งผลโดยตรงต่อคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

ความสำคัญของคอนกรีตสดหลังการผสม:



ในการผสมคอนกรีตสดที่มีเนื้อสม่ำเสมอและคุณสมบัติที่ใช้งานได้ตามกระบวนการเทคอนกรีตที่ประกอบและเกี่ยวข้องกันดังนี้

- การจัดส่งและลำเลียง (Transport)
- การไหลตัวและการเติมเต็ม (Flow and Fill)
- การอัดแน่น (Compaction or Consolidation)
- การแต่งผิวขั้นสุดท้าย (Finishing)
- การบ่มคอนกรีต (Curing)

ความเสียหายของคอนกรีตงานทาง

- การแตกร้าวนอกเหนือจากการรับน้ำหนัก (Non structural cracks)
- การเสื่อมสภาพจากการขัดสี (Abrasion)
- การทรุดตัวของชั้นผิวทาง (Settlement)
- การเสื่อมสภาพจากคลอไรด์ (Chloride attack)
- การเสื่อมสภาพจากซัลเฟต (Sulfate attack)
- การเสื่อมสภาพจากก๊าซหรือสารเคมี (Chemical attack)

พิจารณาองค์ประกอบทุกข้อ ถ้าคอนกรีตทางนั้นๆ ต้องสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมดังกล่าว

การแตกร้าวนอกเหนือจากการรับน้ำหนัก (Non-structural cracks)

การแตกร้าวของโครงสร้างคอนกรีต

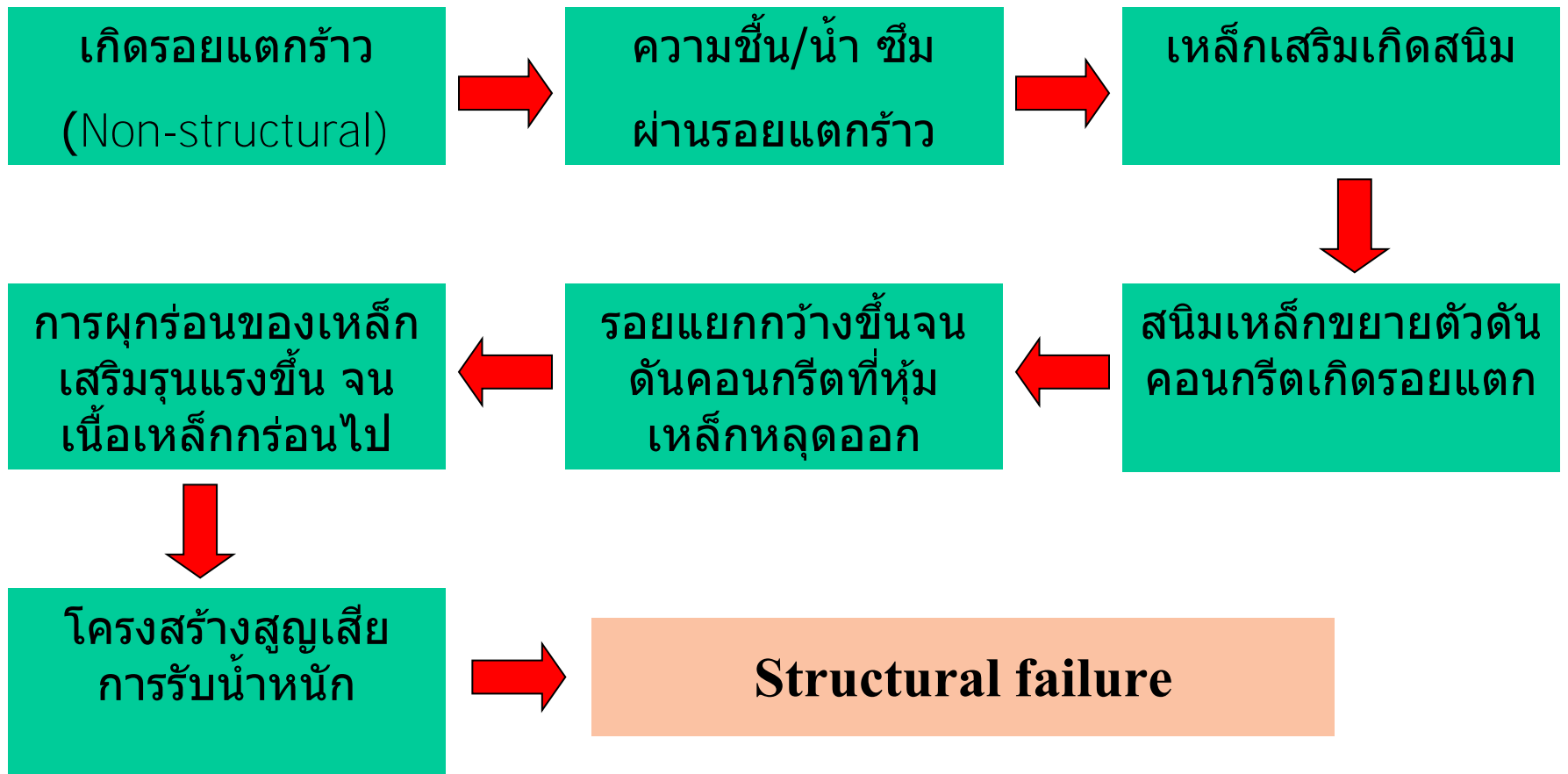
Structural Crack

- การออกแบบที่ไม่ถูกต้อง
- การก่อสร้างผิดวิธี
- โครงสร้างรับน้ำหนักบรรทุกเกิน
- วัสดุไม่สามารถรับแรงได้ตามที่กำหนด

Non-structural Crack

- ความเค้นภายในของวัสดุที่เกิดการหดตัวและถูกยึดรั้ง
- ความเค้นภายในของวัสดุที่เกิดจากการขยายตัวเนื่องจากปฏิกิริยาเคมี

Non-structural Cracking ลดอายุการใช้งานของโครงสร้าง คอนกรีตเสริมเหล็ก



รอยแตกร้าวในคอนกรีตถือเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ สามารถคาดการณ์ได้ และเป็นที่ยอมรับได้

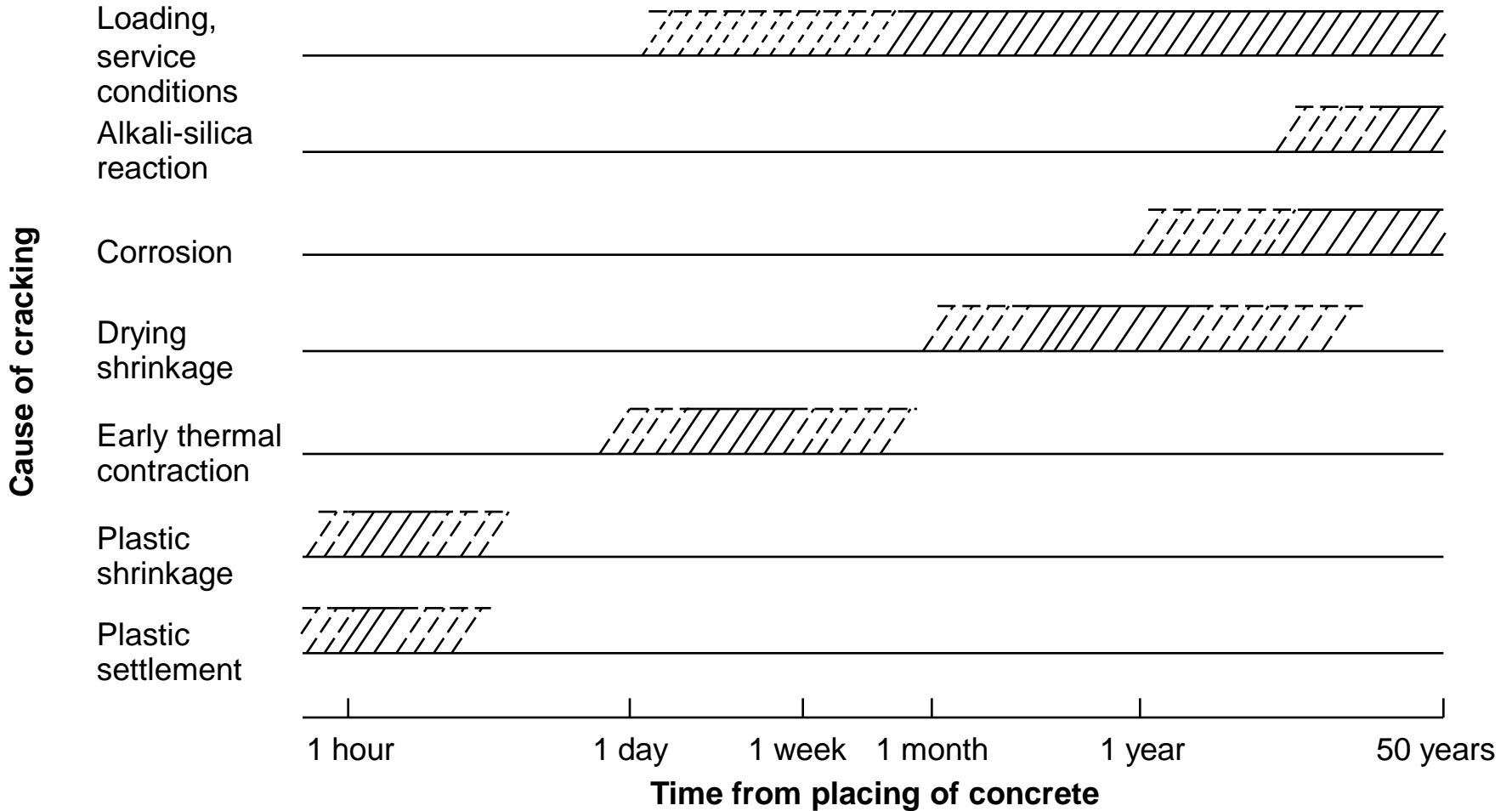
อย่างไรก็ตาม จะต้องควบคุมรอยแตกร้าว นั้น โดย

- จำกัดจำนวนรอยแตกร้าว
- ลดระยะห่างของการเกิดรอยแตกร้าว
- จำกัดความกว้างของรอยแตกร้าว
- กำหนดตำแหน่งที่จะให้เกิดรอยแตก

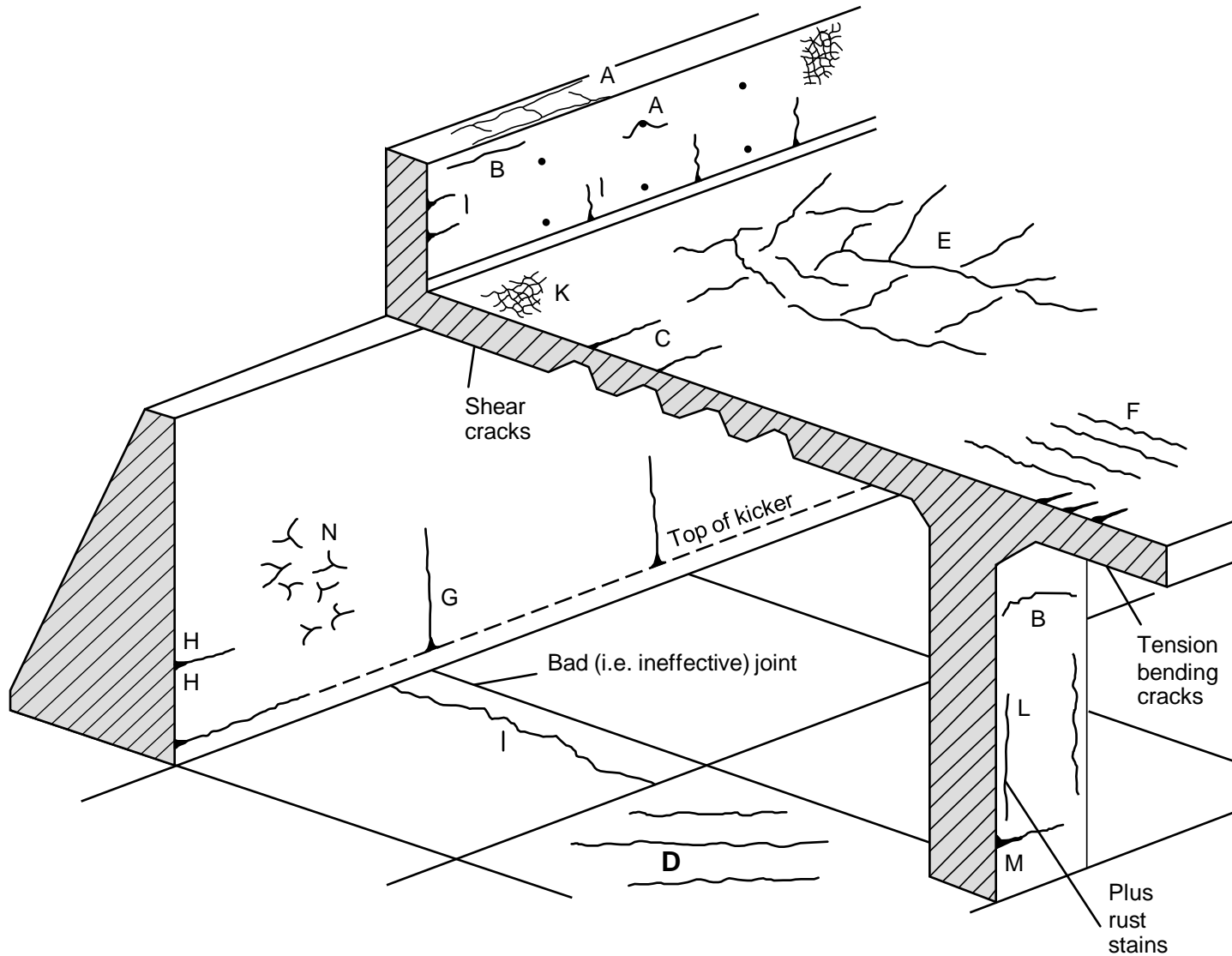
ความจำเป็นที่ต้องควบคุมรอยแตกร้าว

- เพื่อควบคุมรอยแตกให้มีขนาดที่ยอมรับได้ (ภายใต้สภาวะแวดล้อมต่างๆกัน)
- เพื่อให้โครงสร้างมีอายุการใช้งานตามที่ได้ ออกแบบหรือกำหนดไว้

Time of appearance of cracks from placing of concrete



Example of intrinsic cracks in a hypothetical concrete



Classification of intrinsic cracks

Type of cracking	Position on Fig. 3.3	Subdivision	Most common location	Primary cause (excluding restraint)	Secondary causes/factors	Remedy (assuming basic redesign is impossible). In all cases reduce restraint	For further details see section...	Time of appearance
Plastic settlement	A	Over reinforcement	Deep sections	Excess bleeding	Rapid early drying conditions	Reduce bleeding (air entrainment) or revibrate	3.1	10 minute to 3 hours
	B	Arching	Top of columns					
	C	Change of depth	Trough and waffle slabs					
Plastic shrinkage	D	Diagonal	Roads and slabs	Rapid early drying	Low rate of bleeding	Improve early curing	3.1	30 minute to 6 hours
	E	Random	Reinforced concrete slabs					
	F	Over reinforcement	Reinforced concrete slabs	Rapid early drying, steel near surface				
Early thermal contraction	G	External restraint	Thick walls	Excess heat generation	Rapid cooling	Reduce heat and/or insulate	3.1 Appendix 1	1 day to 2 – 3 weeks
	H	Internal restraint	Thick slabs	Excess temperature gradients				

Classification of intrinsic cracks

Type of cracking	Position on Fig. 3.3	Subdivision	Most common location	Primary cause (excluding restraint)	Secondary causes/factors	Remedy (assuming basic redesign is impossible). In all cases reduce restraint	For further details see section...	Time of appearance
Long-term drying shrinkage	I		Thin slabs (and walls)	Inefficient joints	Excess shrinkage, inefficient curing	Reduce water content, improve curing	3.1	Several weeks or months
Crazing	J	Against formwork	'Fair-faced' concrete	Impermeable formwork	Rich mixes Poor curing	Improve curing and finishing	3.1	1 – 7 days, sometimes much later
	K	Floated concrete	Slabs	Over-towelling				
Corrosion of reinforcement	L	Natural	Columns and beams	Lack of cover	Poor quality concrete	Eliminate cause listed	6.2	More than 2 years
	M	Calcium chloride	Precast concrete	Excess calcium chloride				
Alkali-aggregate reaction	N		(Damp locations)	Reactive aggregate plus high-alkali cement		Eliminate cause listed	4.4	More than 5 years

ระดับความรุนแรงของรอยแตกร้าวตาม ACI

ความรุนแรง	ความกว้าง (มม.)
เล็กมาก (very fine)	< 0.1
เล็ก (fine)	$0.1 - 0.2$
ปานกลาง (medium)	$> 0.2 - 0.3$
มาก (extensive)	$> 0.3 - 0.41$
รุนแรง (severe)	> 0.41

ข้อกำหนดของรอยร้าวตามมาตรฐานสหราชอาณาจักร BS

BS 8007

- สำหรับคอนกรีตในโครงสร้างที่ต้องการเน้นความสวยงาม (“Critical aesthetic appearance”) ควรมีความกว้างของรอยร้าวที่ผิวหน้าไม่เกิน 0.1 มม.
- สำหรับคอนกรีตในโครงสร้างทั่วไป ควรมีความกว้างของรอยร้าวที่ผิวหน้าไม่เกิน 0.2 มม.

BS 8110

- รอยร้าวที่มีความกว้างไม่เกิน 0.3 มม. โดยทั่วไปเป็นที่ยอมรับได้ในเรื่องความสวยงาม (generally aesthetically acceptable)

ข้อสรุปของรอยร้าวตามมาตรฐาน BS

- รอยร้าวไม่ว่าจะอยู่ในโครงสร้างใดและภายใต้สิ่งแวดล้อมใด หากมีความกว้างไม่เกิน 0.2 มม. ก็สามารถขังน้ำได้โดยไม่มีกร้าว (Watertight)
- เมื่อน้ำซึมลงไปในรอยร้าว น้ำจะไปละลายเกลือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในคอนกรีตและเมื่อสัมผัสกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก็จะเกิดเป็นผลึกแคลเซียมคาร์บอเนตหรือหินปูน
- กระบวนการนี้อยู่ในรูปแบบ Autogeneous healing ซึ่งมีประสิทธิผลในการปิดรอยร้าว เพียงแต่จะมีสีขาวไม่เหมือนสีคอนกรีต

ข้อกำหนดของรอยร้าวตามมาตรฐานสหรัฐอเมริกา ACI 224R-01

มาตรฐานมีข้อเสนอแนะ (guide) ความกว้างของรอยร้าวที่มีเหตุผล (reasonable crack widths) สำหรับสภาวะแวดล้อมต่างๆ ดังนี้ โดยให้ใช้วิจารณ์्यानเป็นหลัก

สภาวะ	มม.
อากาศแห้ง หรือ มีวัสดุหุ้มป้องกันความชื้น	0.41
อากาศชื้น หรือ สัมผัสกับดิน	0.30
สัมผัสกับเกลือละลายน้ำแข็ง	0.18
น้ำหรือไอทะเล หรือ มีการเปียกสลับกับการแห้ง	0.15
โครงสร้างที่ต้องขังน้ำได้ ไม่รวมท่อที่ไม่มีความดัน	0.10

ประเภทการแตกร้าวแบบ **Non-structural**

1. Plastic Cracking
2. Early Thermal Contraction Cracking
3. Craze Cracking หรือ Crazing
4. Long-term Drying Shrinkage Cracking

Plastic Cracking

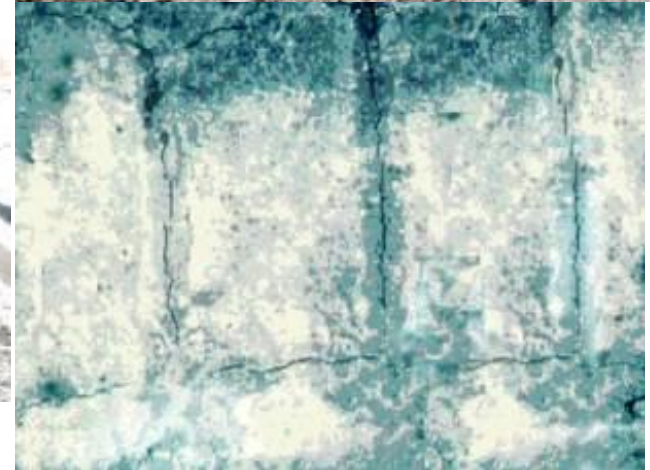
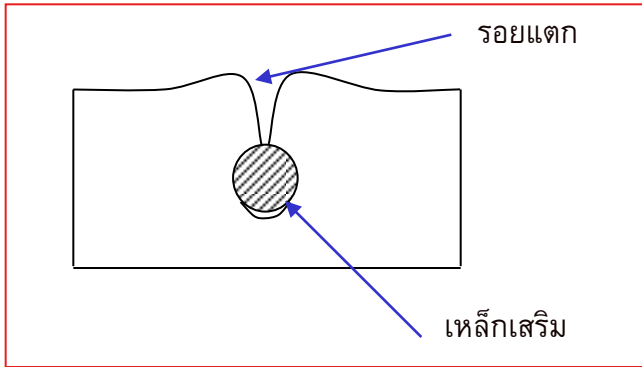
แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

- Plastic Settlement Cracking
- Plastic Shrinkage Cracking



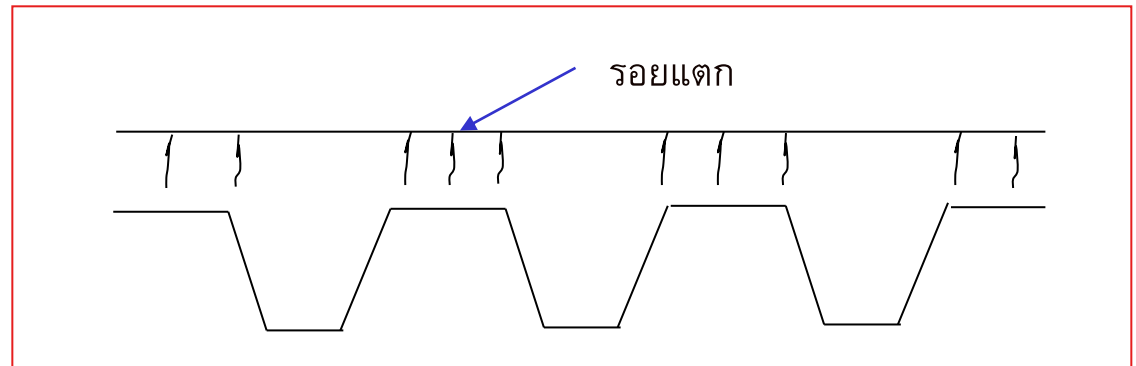
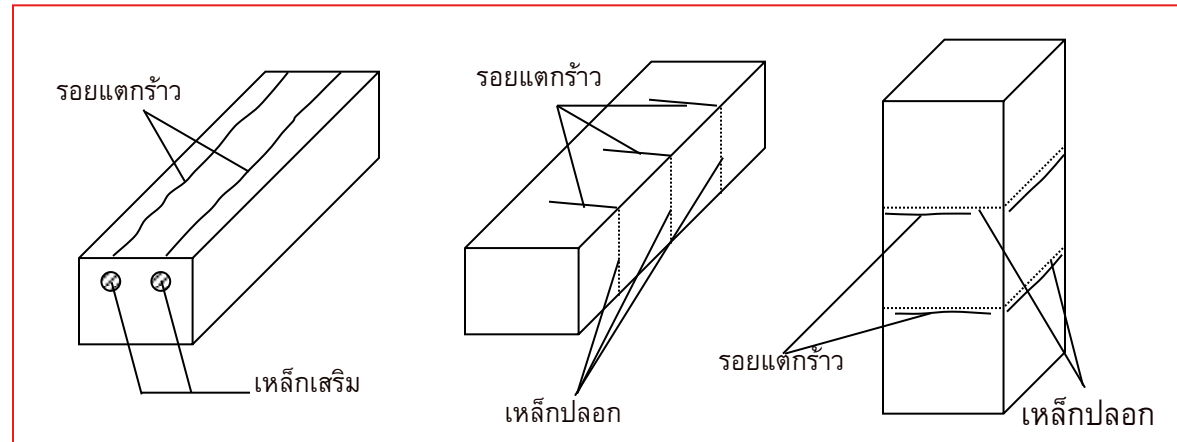
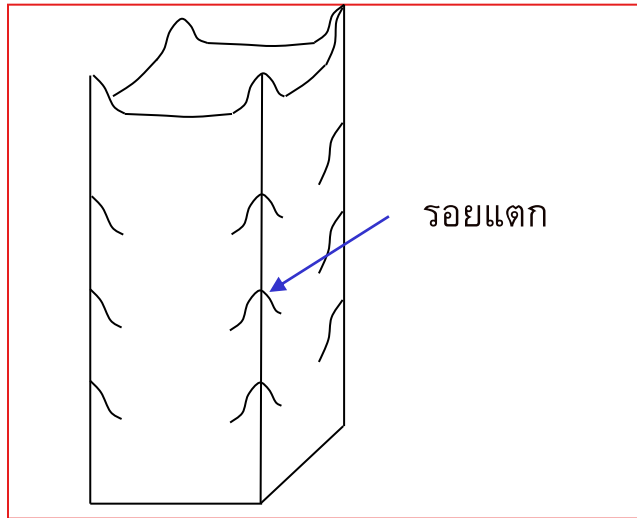
Plastic Settlement Cracking

เกิดจากมีการเยิ้ม น้ำ (Bleeding) ของคอนกรีตมากจนเกิดการยุบตัวของคอนกรีต และเกิดการยึดรั้ง (Restraint) กับแบบหล่อ เหล็กเสริม หรือ tie bolts และมีระยะ หุ้มไม่เพียงพอ



ลักษณะของ Plastic Settlement Cracking

- เกิดรอยร้าว เหนือ เหล็กเสริม หรือ tie bolts ที่ยึดแบบหล่อ
- เกิดรอยร้าวโค้งใน เสากำแพงแคบ ๆ หรือรอยร้าวที่หัวเสาบางประเภท
- เกิดรอยร้าวในบริเวณที่ความหนาโครงสร้างเปลี่ยน



การป้องกันการเกิด **Plastic Settlement Cracking**

1. ลดการเยิ้มหน้า (bleeding) และการยุบตัวของคอนกรีต
 - ใช้ Air entraining agent
 - ใช้ PP Fiber ผสมคอนกรีต
 - ใช้คอนกรีตที่มีค่ายุบตัวไม่สูงเกินไป (ต่ำกว่า 15 ซม.)
2. ลดการยึดรั้ง (restraint)
 - เพิ่มระยะหุ้มของเหล็กเสริม
 - ใช้เหล็กเสริมขนาดเล็กลง (พท.เหล็กต่อหน้าตัดคงเดิม)
3. เขย่าคอนกรีตช้าในขณะที่ยังไม่ก่อตัว

Plastic Shrinkage Cracking

เกิดจากการระเหยของน้ำออกจากคอนกรีตที่ผิวหน้าอย่างรวดเร็ว จน
น้ำในคอนกรีตเต็มชั้นมาทดแทนที่ผิวหน้าไม่ทัน จึงเกิดรอยแตกที่
ผิวหน้าคอนกรีต มักพบในการเทพื้นที่กว้างๆ ในภาวะอากาศร้อน ลม
แรง แดดจัด ความชื้นสัมพัทธ์อากาศต่ำ ได้แก่ หน้าร้อน หน้าหนาว



รูปแบบการแตกร้าวของ Plastic Shrinkage Cracking

1. รอยแตกแบบแท่งงม
2. รอยแตกแบบกระจาย
3. รอยแตกตามแนวเหล็กเสริม



- Plastic Shrinkage Crack **พื้นถนน**
 - ❖ ถนนหนา 25 ซม.
 - ❖ เหล็กตะแกรงขนาด 6 mm @ 20 ซม.
 - ❖ อุณหภูมิอากาศ 36-37 องศา
 - ❖ ความเร็วลม 18-20 กม./ชม.
 - ❖ เกิดรอยร้าวที่คอนกรีตอายุ 3 ชม.



การป้องกันการเกิด **Plastic Shrinkage Cracking**

1. บ่มคอนกรีตทันทีที่ทำได้ (บ่มชั้นดีที่สุด)
2. ใช้ส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสม
(กรณีปรับปรุงวิธีการบ่มไม่ได้)
 - ใส่สารกักอากาศ (AEA)
 - ทำให้คอนกรีตก่อตัวเร็วขึ้น โดยลดปริมาณสารหน่วงการก่อตัวของคอนกรีต
3. ใช้เส้นใยไฟเบอร์ผสมคอนกรีต
4. ทำให้ไม้แบบและทรายรองพื้นมีความชื้นก่อนเทคอนกรีต
5. หลีกเลี่ยงการแตกคอนกรีตในภาวะแดดจัด ลมแรง

การป้องกันการเกิด **Plastic Shrinkage Cracking**

แก้ไขโดยปรับลดน้ำยาหน่วง และป้องกันการสูญเสียน้ำที่ผิวหน้าด้วย
การคลุมด้วยกระสอบเปียก



รอยแตกลายงาขนาดเล็กๆ จางๆ ที่เกิดจากการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ บริเวณผิวหน้าคอนกรีต รอยแตกมักไม่ลึกจากผิวมาก สังเกตด้วยตาเปล่า ได้ยาก แต่จะเห็นชัดเจนเมื่อทำให้คอนกรีตเปียกด้วยน้ำและทิ้งให้แห้ง หมดๆ



การป้องกันการเกิดรอยแตกแบบ Craziing

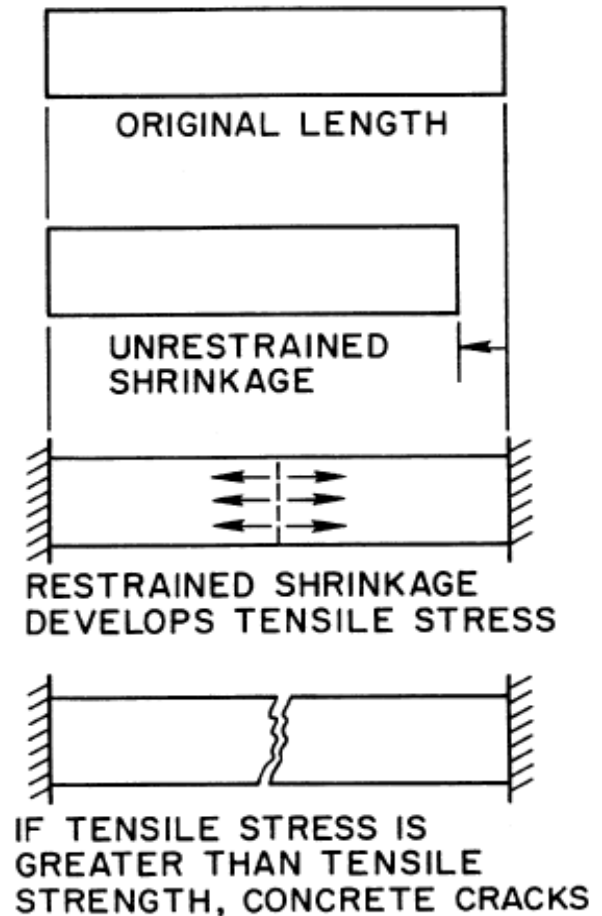
1. หลีกเลี่ยงการบ่มคอนกรีตด้วยน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิต่างกับอุณหภูมิกอนกรีตเกินกว่า 11 °C
2. หลีกเลี่ยงการทำให้คอนกรีตเปียกและแห้งสลับกันไปในขณะที่คอนกรีตมีเริ่มก่อตัวใหม่ๆ (Early ages)
3. หลีกเลี่ยงการขัดแต่งผิวหน้าคอนกรีตมากเกินไปจนมอร์ต้าขึ้นมาอยู่บริเวณผิวหน้า
4. ไม่ขัดผิวหน้าคอนกรีตเร็วเกินไป (ขณะที่คอนกรีตยังเปียก)
5. ไม่สาดปูนบนผิวหน้าคอนกรีตเพื่อทำให้คอนกรีตแห้งหรือขัดมัน
6. ไม่พรมน้ำบนผิวหน้าคอนกรีตในขณะที่แต่งผิวหน้า
7. จำกัดปริมาณฝุ่นละเอียด (clay or dirt) ในมวลรวมไม่ให้เกิน 3%

เป็นรอยแตกจากการหดตัวของคอนกรีตที่ เกิดจาก

- การใช้เหล็กเสริมไม่เหมาะสม
- มีรอยต่อในโครงสร้างไม่เหมาะสม
- การกีดขวาง (restraint) ของคอนกรีต

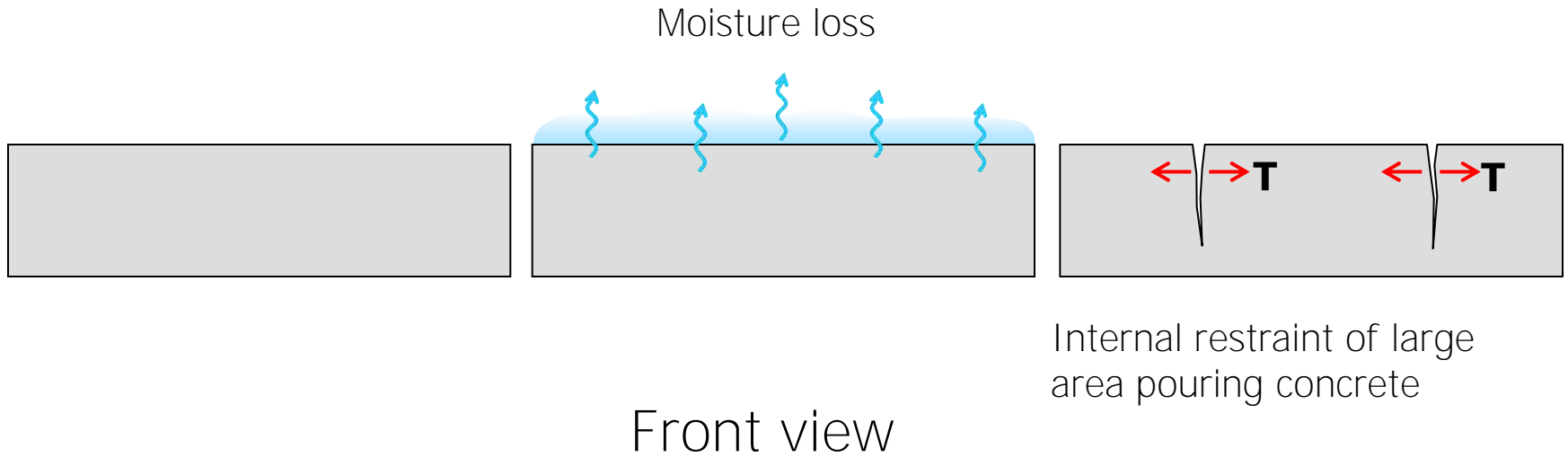
เกิดได้ในคอนกรีตอายุ 7 วันถึง 1 ปี หลังการเท

ที่มาของรูป ACI 224R-01



3.1—Cracking of concrete due to drying shrinkage.

Long Term Drying Shrinkage Cracking



ปัจจัยที่มีผลต่อการหดตัวของคอนกรีต

1. ส่วนผสมคอนกรีต

- ปริมาณน้ำผสมคอนกรีต
- ปริมาณซีเมนต์
- สารผสมเพิ่มทดแทนซีเมนต์
- ปริมาณมวลรวมในส่วนผสมคอนกรีต
- น้ำยาผสมคอนกรีต

2. ความชื้นสัมพัทธ์

3. การบ่มคอนกรีต

4. ขนาดและรูปร่างของโครงสร้าง

ปริมาณน้ำในส่วนผสมคอนกรีต

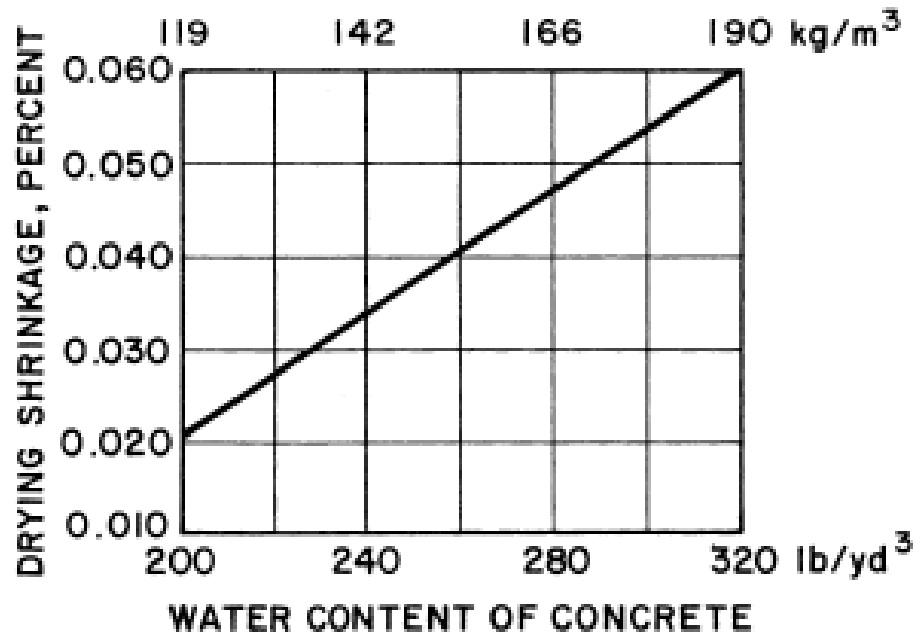


Fig 3.5—Typical effect of water content of concrete on drying shrinkage (USB 1981).

ที่มาของกราฟ ACI 224R-01

สัดส่วนมวลรวมในส่วนผสมคอนกรีต

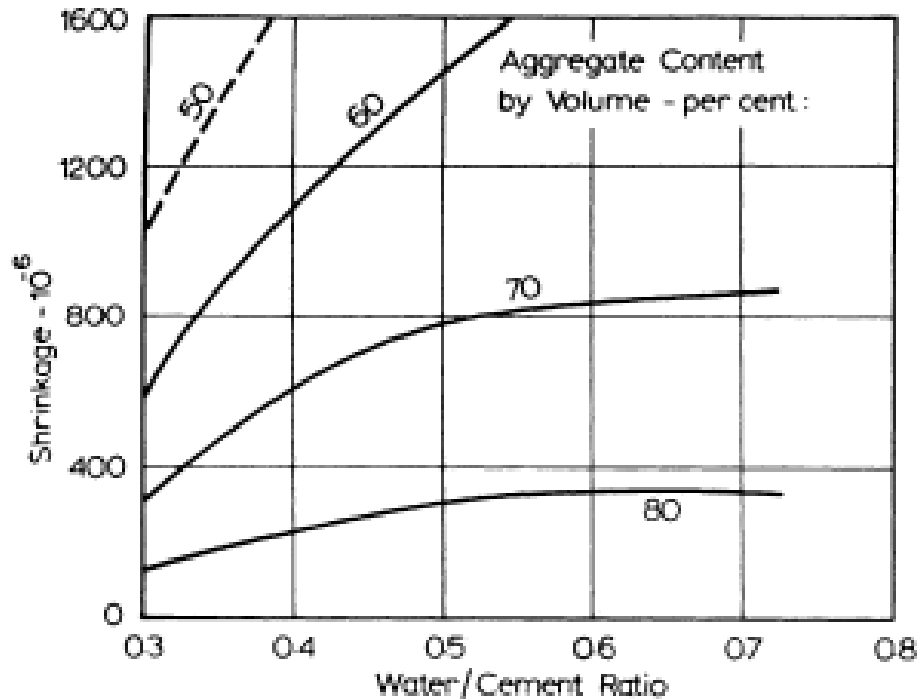
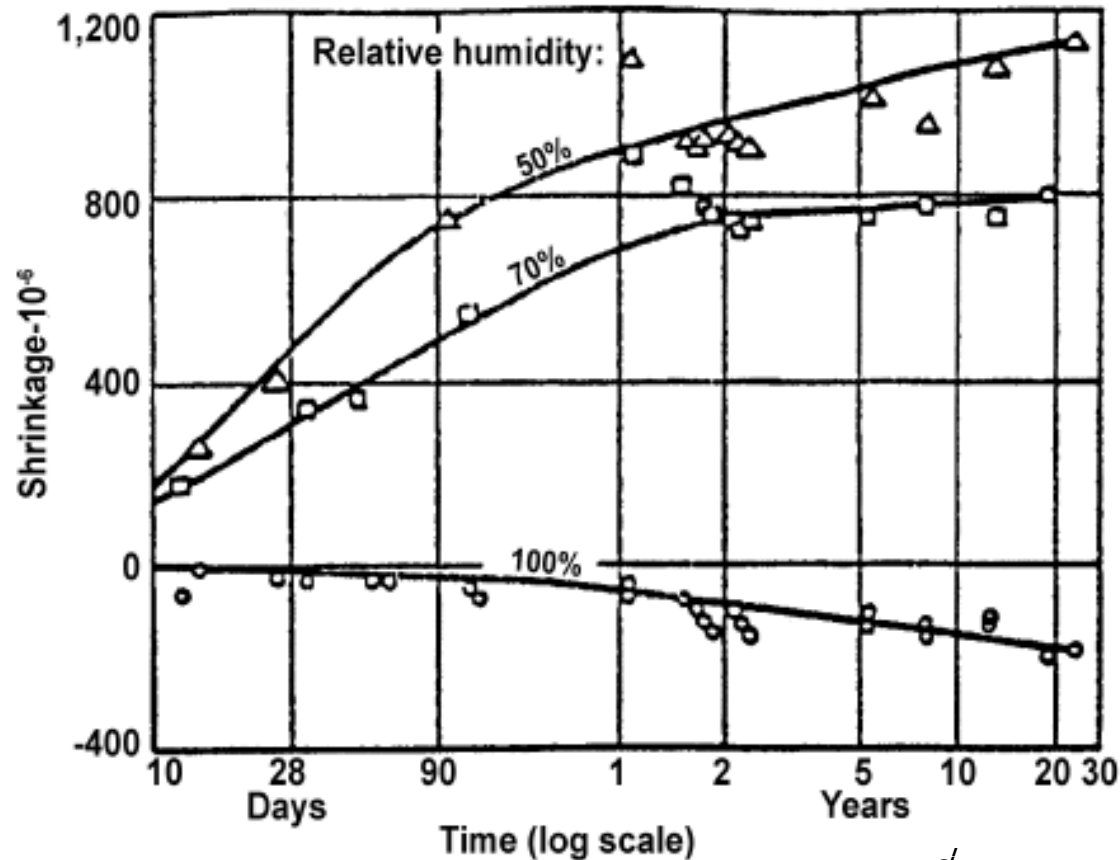


Fig. 3.7—Influence of w/c and aggregate content on shrinkage (Odman 1968).

ที่มาของกราฟ ACI 224R-01

ความชื้นสัมพัทธ์ และระยะเวลาแห้งตัวของคอนกรีต



ที่มาของกราฟ ACI 224R-01

ปัจจัยที่มีผลต่อ Long Term Drying Shrinkage

1. การเกิด restraint
 - External restraint
 - Internal restraint
2. Tensile strain capacity
3. การใช้เหล็กเสริม และรอยต่อที่เหมาะสม

ข้อกำหนดในการออกแบบ ACI 318 บทที่ 12

7.12.2.1 — Area of shrinkage and temperature reinforcement shall provide at least the following ratios of reinforcement area to gross concrete area, but not less than **0.0014**:

(a) Slabs where Grade **280** or **350** deformed bars are used **0.0020**

(b) Slabs where Grade **420** deformed bars or welded wire reinforcement are used..... **0.0018**

(c) Slabs where reinforcement with yield stress exceeding **420** MPa measured at a yield strain of **0.35** percent is used $(0.0018 \times 420) / f_y$

7.12.2.2 — Shrinkage and temperature reinforcement shall be spaced not farther apart than five times the slab thickness, nor farther apart than **450** mm.

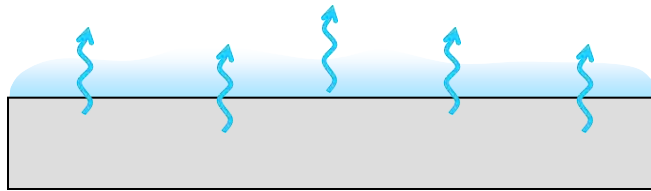
ข้อกำหนดในการออกแบบเพื่อป้องกันการแตกร้าว **ACI 224**

The minimum amount and spacing of reinforcement to be used in structural floors, roof slabs, and walls for control of temperature and shrinkage cracking is given in ACI 318 or in ACI 350R.

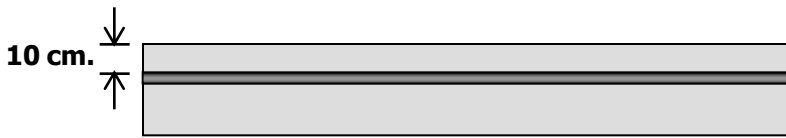
The minimum-reinforcement percentage, which is between 0.18 and 0.20%, does not normally control cracks to within generally acceptable design limits.

To control cracks to a more acceptable level, the percentage requirement needs to exceed about 0.60%.

Place reinforcement close to the surface to minimize drying shrinkage crack

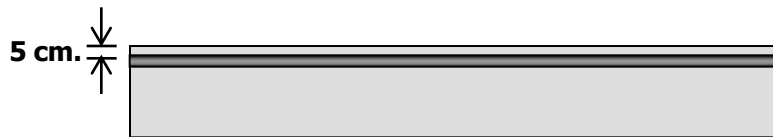
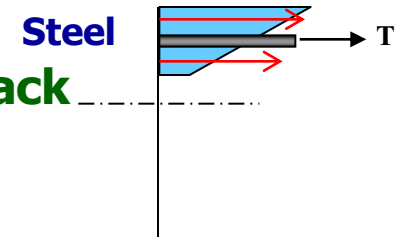


At surface concrete lose more moisture → Higher shrinkage



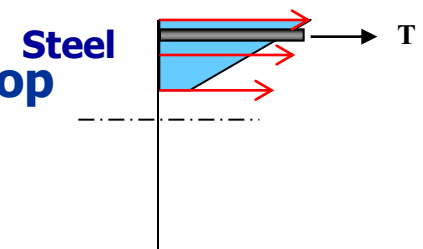
Cover higher → High potential to be crack

Tension from shrinkage



Steel placement near to top surface → Less crack

Tension from shrinkage



แนวทางการลดการแตกร้าวจาก Drying Shrinkage

1. ใช้มวลรวมหยาบปริมาณสูง (S/A ต่ำ) ในส่วนผสมคอนกรีต
2. ใช้มวลรวมขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อลดน้ำผสมคอนกรีต
3. ใช้คอนกรีตที่มีค่ายุบตัวเพียงพอที่จะเขย่าแน่นได้ (ยกเว้นคอนกรีตที่เติม superplasticizer)
4. ใช้น้ำยาผสมคอนกรีตที่เหมาะสมในการลดน้ำผสมคอนกรีต
5. บ่มคอนกรีตอย่างเพียงพอโดยเฉพาพื้นที่กว้าง
6. ลด external restraint โดยใช้รอยต่อ (joint)
7. ออกแบบรอยต่อที่พอเพียงสำหรับควบคุมแนวแตกร้าว
8. ใช้สารผสมเพิ่มประเภท shrinkage compensation หรือคอนกรีตที่ผสมสารขยายตัว (Expanded concrete)

ประเภทของรอยต่อ (Joint) ในคอนกรีต

- รอยต่อแยกส่วนอิสระ Isolation joint
- รอยต่อสำหรับการขยายตัว Expansion joint
- รอยต่อสำหรับการหดตัว หรือ รอยต่อเพื่อควบคุมการแตกร้าว Contraction joint / Control joint
- รอยต่อจากการแบ่งเท Construction joint

รอยต่อสำหรับการขยายตัว Expansion joint



ทำหน้าที่แยกโครงสร้างให้อิสระจากกันเพียงแนวเดียวเพื่อรองรับการขยายตัวของวัสดุ ลดการสั่นสะเทือน หรือรองรับการเคลื่อนตัวจากการทรุดตัวและแผ่นดินไหว

- ให้มีการเคลื่อนที่แนวราบ
- มีการเสริมเหล็กผ่านรอยต่อ
- มี bonding ข้างใดข้างหนึ่ง

รอยต่อสำหรับการหดตัว หรือ รอยต่อเพื่อควบคุมการแตกร้าว Contraction joint / Control joint

ทำหน้าที่บังคับให้เกิดการแตกร้าวในตำแหน่งที่ต้องการ โดยการสร้างจุดอ่อนให้โครงสร้าง เพื่อหยุดแรงยึดรั้งจากการหดตัวของวัสดุ ทำให้ลดหรือป้องกันการแตกร้าวที่ไม่มีระเบียบ



- มีระยะห่างที่เหมาะสม
- ต้องมีการระบุตำแหน่งอย่างชัดเจน

รอยต่อจากการแบ่งเท Construction joint

ทำหน้าที่หยุดการเทคอนกรีตในตำแหน่งที่เหมาะสม เพื่อไม่ให้เกิดการแตรามีขนาดใหญ่เกินไป และควบคุมการยัดรัง



- ใช้เป็นรอยต่อได้หลายประเภท
- ถ้าไม่ต้องการทำเป็นรอยต่อต้องมีการกำจัดคราบ Laitance เพื่อป้องกันการเกิด Cold Joint

ข้อกำหนด Joint ตาม ACI 224 และ PCA

ACI 224.3R-95 : Joint in Concrete Construction

ACI 224R-01 : Control of Cracking in Concrete Structure

Structural Slabs และ Beams

ACI 224.3R-95 กำหนด *Construction joint* ดังนี้

- ระยะ ตั้งแต่ $L/3$ แต่ไม่เกิน $2L/3$ หรือ mid span
- ตำแหน่งที่แรงเฉือนต่ำสุด (L = ความยาว span)
- วางในแนวตั้งฉากกับแนวเหล็กเสริมหลัก

For building

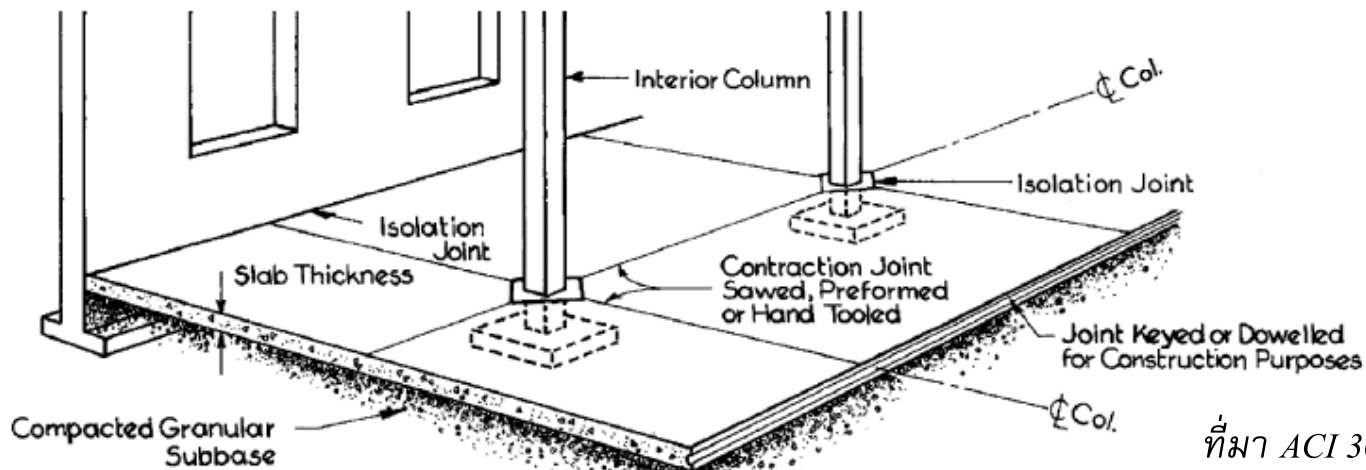
Contraction joint ไม่มีข้อกำหนด แล้วแต่สถาปนิก

Expansion joint และ Isolation joint ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่คาดว่าจะเพิ่มขึ้น หรือ การยุบตัวในแนวตั้ง (Settlement) ที่คาดว่าจะเกิด หรือการเคลื่อนตัวจากแผ่นดินไหว โดยมากมีความกว้าง 5 ซม. และระยะห่างระหว่างรอยต่อโดยทั่วไป 30-60 ม.

Slabs on Grade

- พื้นมีการเคลื่อนตัวเนื่องจาก

- ❖ คอนกรีตหดตัว
- ❖ อุณหภูมิคอนกรีตที่เปลี่ยนแปลง
- ❖ แรงทั้งทางตรงและแนวตั้งจากน้ำหนักที่กระทำบนพื้น
- ❖ การยุบตัวของพื้น



ที่มา ACI 302.1R

Slabs on Grade

- ACI 224.3R-95 ให้อ่างแผน *Construction joint* ให้อตรงกับตำแหน่งของ *Contraction* หรือ *Isolation joint*
- ACI 302 แนะนำให้อ่าง *Contraction joint* ทุกระยะ 24-36 เท้าของความหนาของพื้น โดยให้ออยู่ในแนวเสาและพยายามให้อเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสมากที่สุด และ PCA (Portland Cement Association) แนะนำให้อใช้ตัวเลขต่ำสำหรับคอนกรีตที่มีค่ายุบตัวสูงและหินใหญ่สุดขนาดเล็กกว่า $\frac{3}{4}$ นิ้ว
- ACI 224.3R-95 กำหนด *Isolation joint* เพื่อแยกส่วนอย่งเป็นอิสระกับโครงสร้างอื่น อาทิ กำแพง เสา ฐานราก หรือ ฐานรองเครื่องจักร
- ส่วนใหญ่การขยายตัวของพื้นจากอุณหภูมิจะน้อยกว่าการหดตัวของคอนกรีต จึงใช้ *Isolation joint* แทน *Expansion joint* ได้

Pavements พื้นถนน

- *Construction joint* ไม่มีข้อกำหนด แต่ใช้เป็น *Contraction joint* ได้หรือหากใช้เป็น *Expansion joint* ต้องทำ Key หรือถ้ามี Load สูงควรใช้เหล็กเดือย
- ACI 224.3R-95 แนะนำให้วาง *Contraction joint* ทุกระยะ 24 เท่าของความหนาของพื้นแต่ไม่เกิน 6 ม.โดยให้มีความลึกอย่างน้อย 1/3 เท่าของความหนา และ PCA (Portland Cement Association) แนะนำให้วางทุกระยะ 4.5 ม.
- ACI 224.3R-95 กำหนด *Longitudinal joint* สำหรับถนนประเภท Highway ณ ตำแหน่งกึ่งกลางถนน
- *Isolation joint* ที่ประตูระบายน้ำ Manhole หรือแยก
- *Expansion joint* ไม่ต้องมี



เทถนนหนา 20 ซม. ความลึกของ
sawed cut joint เท่ากับ 2 ซม.

พบรอยแตกใกล้กับบริเวณรอยตัด
ก่อนการเปิดรับจราจร



สาเหตุหลัก

- เกิดจากการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีต
- Sawed cut joint ที่มีความลึกไม่มากพอ ทำให้รอยแตกไม่อยู่ในแนวที่กำหนดไว้



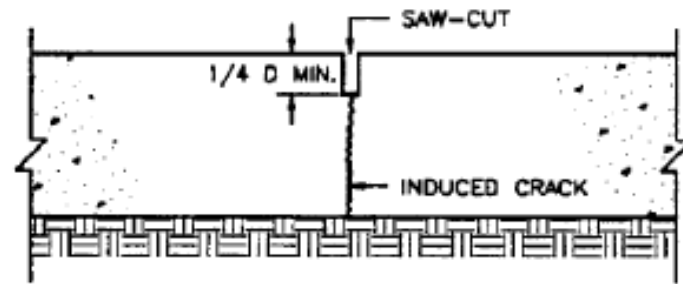
Sawed cut joint ที่มีความลึก
ไม่มากพอ ทำให้รอยแตกไม่อยู่
ในแนวที่กำหนดไว้

ระยะเวลาที่ตัด joint ควรตัด
ทันทีหลังคอนกรีตแข็งตัวแล้ว

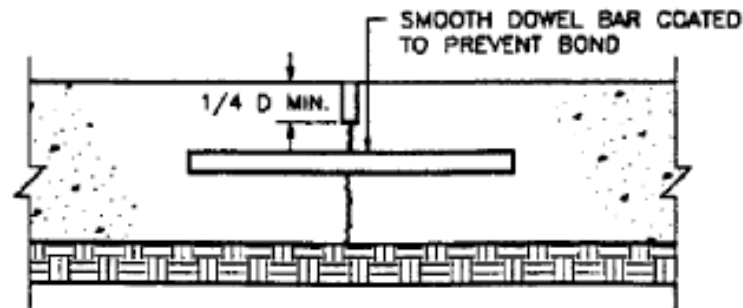
การตัด joint ที่ช้าเกินไป ทำให้
เกิดรอยแตกเกิดขึ้นก่อนการตัด
โดยเฉพาะส่วนผสมคอนกรีตที่
ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์สูง

Contraction Joint Types (ACI 302.1R)

Slab on grade



SAWED CONTRACTION JOINT



CONTRACTION JOINT WITH DOWELS

Pavements ลานจอดรถ

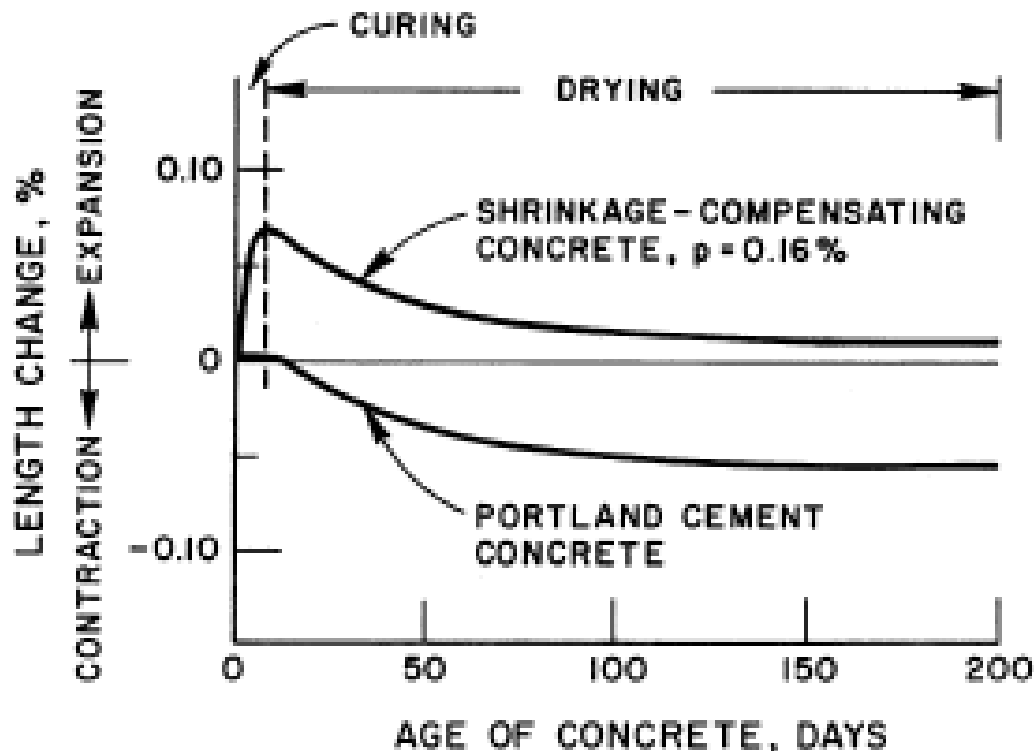
- ACI 224.3R-95 แนะนำให้วาง *Construction joint* เป็น *Contraction joint*
- ACI 330R แนะนำให้วาง *Contraction joint* ทุกระยะ 3-4 ม. สำหรับพื้นหนา 10 ซม. หรือทุกระยะ 5-6.3 ม. สำหรับพื้นหนา 20 ซม. โดยแบ่งเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือหากเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ส่วนยาวต้องไม่เกิน 1.25 เท่าของส่วนกว้าง
- ACI 224.3R-95 แนะนำให้วาง *Longitudinal joint* ทุกเลนถนน
- *Isolation joint* แยกกับอาคาร ท่อระบายน้ำ ทางเดิน ฯลฯ
- *Expansion joint* ไม่ต้องมี

แนวทางการลดจำนวนรอยต่อ

- เพิ่มเกณฑ์ความกว้างของรอยร้าวที่ยอมรับได้
- ใช้ Expansive Concrete
- ใช้ Fiber Concrete
- ออกแบบคอนกรีตให้หดตัวน้อยโดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ไม่เกิน (W/C) 0.45 โดยใช้น้ำยาลดน้ำปริมาณมาก (Superplasticizer)
- เลือกอัตราส่วนมวลรวมหยาบสูงกว่า
- ออกแบบปริมาณซีเมนต์ไม่มากเกินไป 380 kg/m³

เตรียมงบประมาณเพื่อใช้ในการซ่อมแซมรอยร้าว !

การใช้คอนกรีตขยายตัว

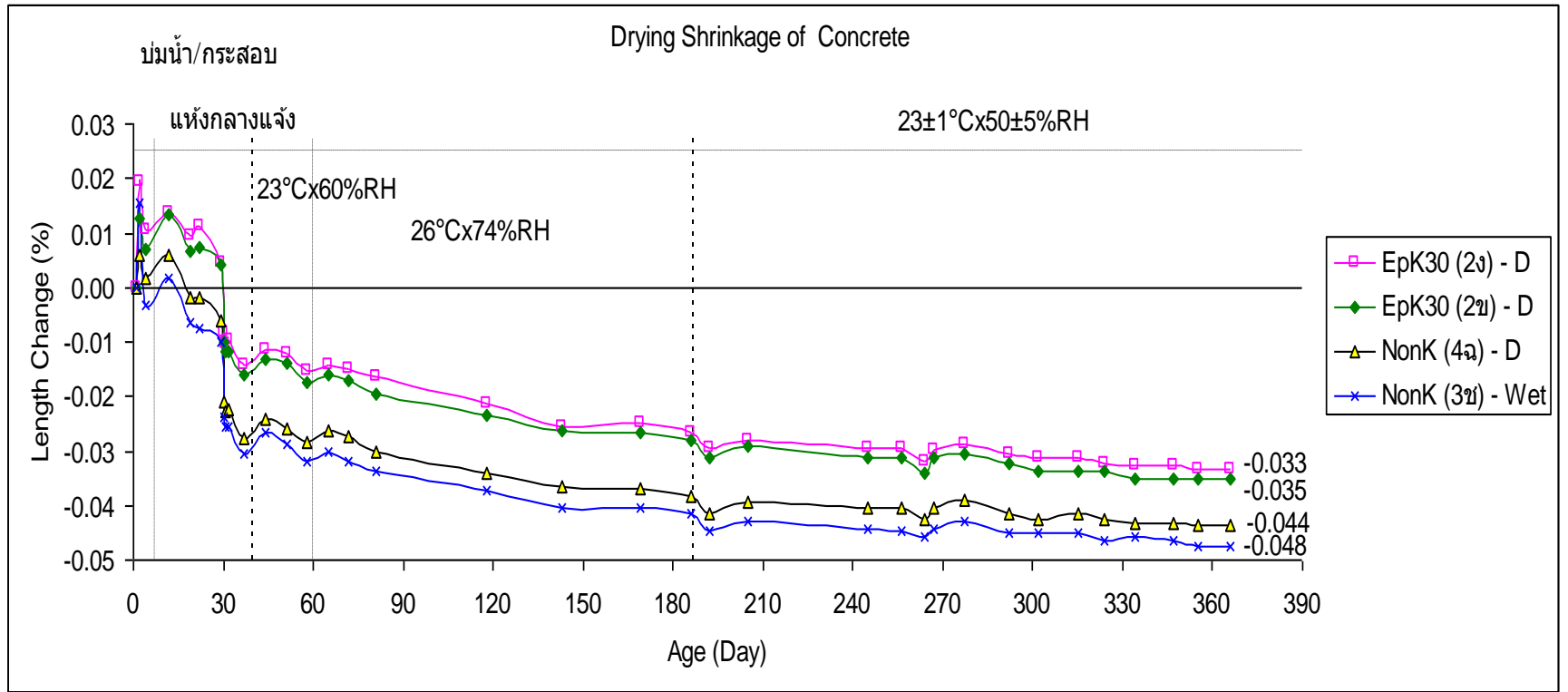


คอนกรีตขยายตัว
ก่อน เพื่อชดเชยการ
หดตัวเมื่อคอนกรีต
แห้งในภายหลัง

Fig. 3.11—Length-change characteristics for shrinkage-compensating and portland cement concrete (relative humidity = 50%).

ที่มาของกราฟ ACI 224R-01

การใช้คอนกรีตขยายตัว (ต่อ)



Macro Fiber Concrete

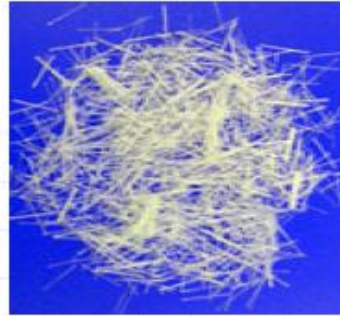
RECS15



RECS100



RFS400



PVA Fiber



Steel Fiber

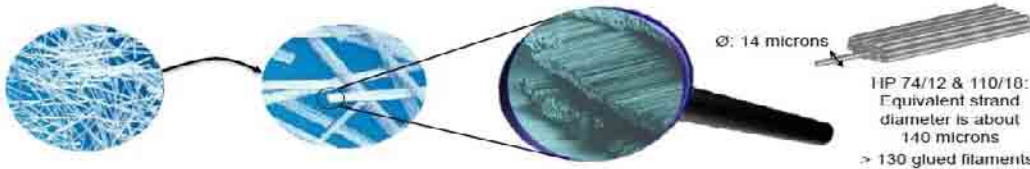


OCV Reinforcements

Anti-Crak® Technology

Anti-Crak® HP

The fiber is composed of single filaments glued together to form a strand



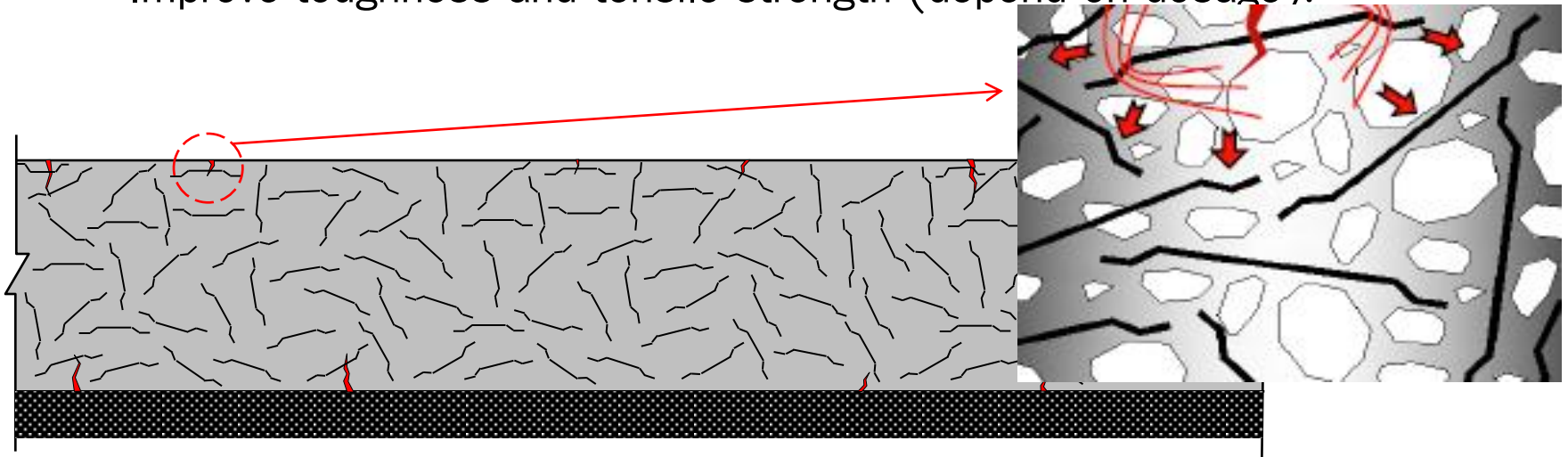
High Performance fibers: *Low dosage* → 900 to 1500 g/m³

- Reinforce concrete under loads
- High integrity and resistance to degradation during mixing
- Lengths 6mm, 12mm, 18mm
- > 2 million of fibres per kg (6 and 12mm)

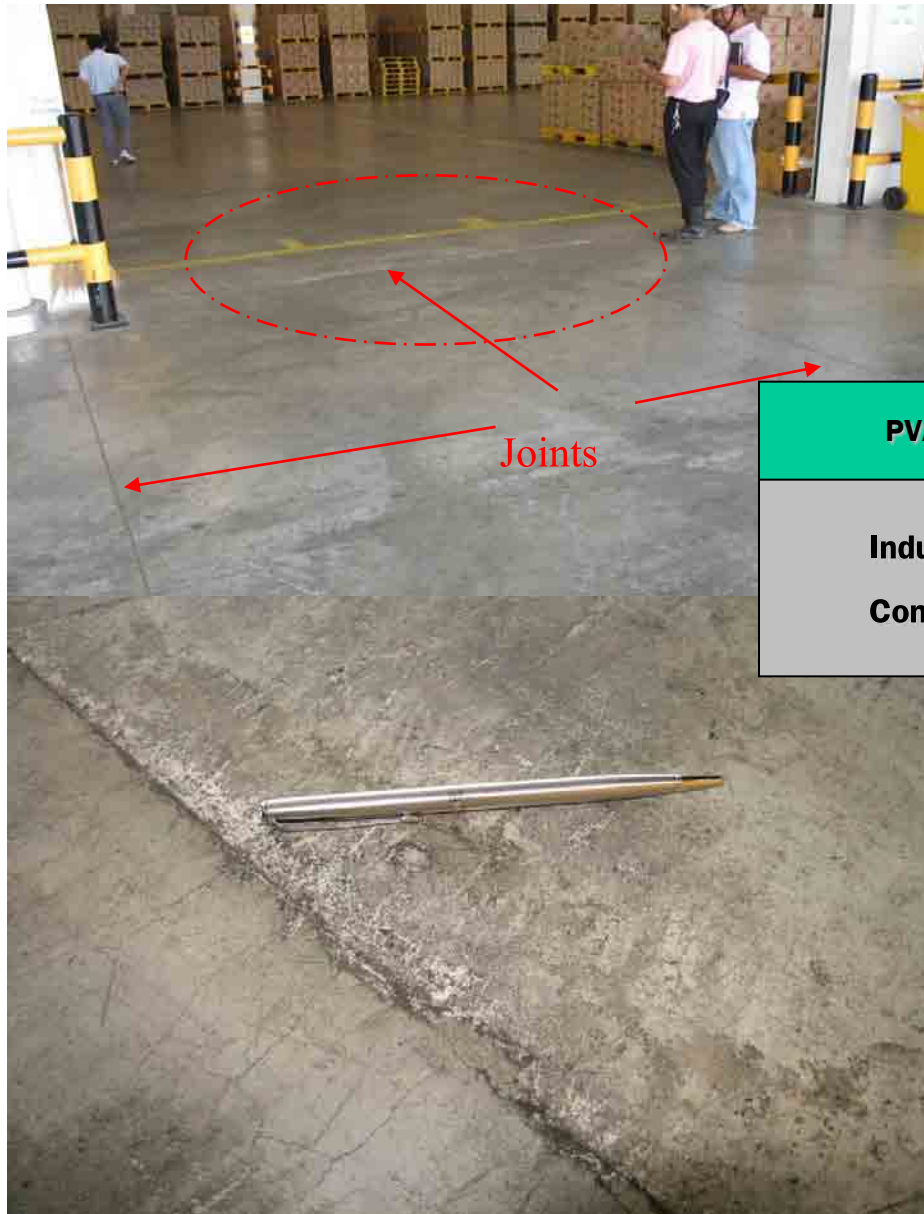
Glass Fiber

Macro Fiber Advantages:

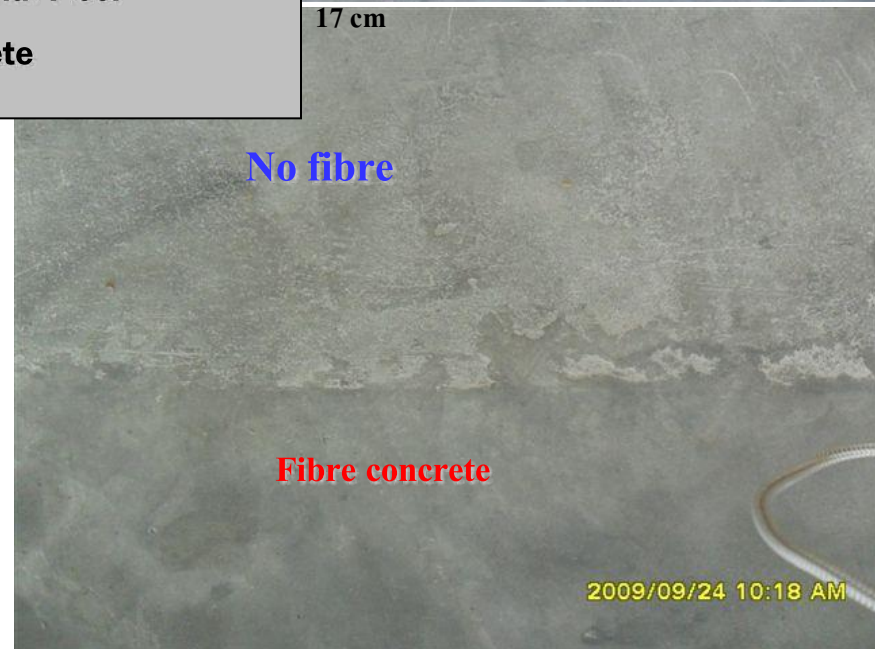
- In some cases, general steel reinforcement replaced by fiber concrete. That means reducing construction time and process.
- Dispersion in the whole concrete giving better tensile stress distribution compared to steel reinforcement concrete.
- Less shrinkage crack width and amount.
- Improve impact resistance in concrete floor.
- Improve delamination/ spalling resistance and more durable.
- Improve toughness and tensile strength (depend on dosage).



PVA Fiber at Kao factory



PVA Fiber Concrete	5 cm
Industrial Floor Concrete	17 cm



Steel Fiber Concrete



Pairs of Steel Fiber

Need proper mixer to mix steel fiber concrete well otherwise steel fiber is not good dispersion, not recommend to mix in the truck mixer because there is no mixing blade inside the truck. The best way to use this type of steel fiber that needs to mix concrete at mixing plant.

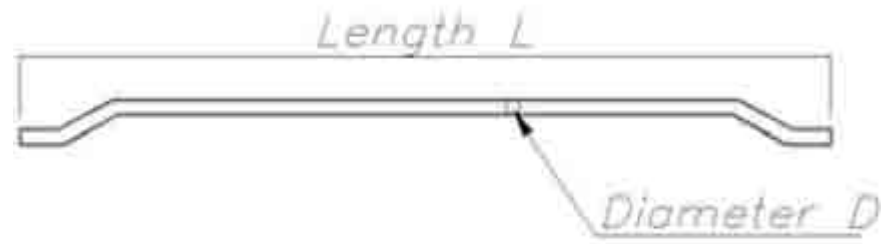
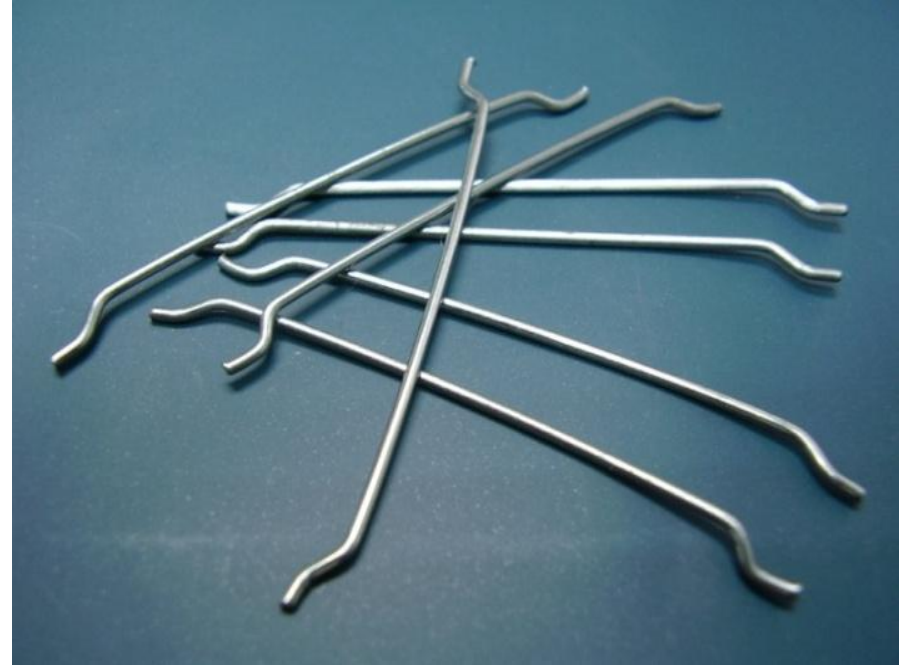
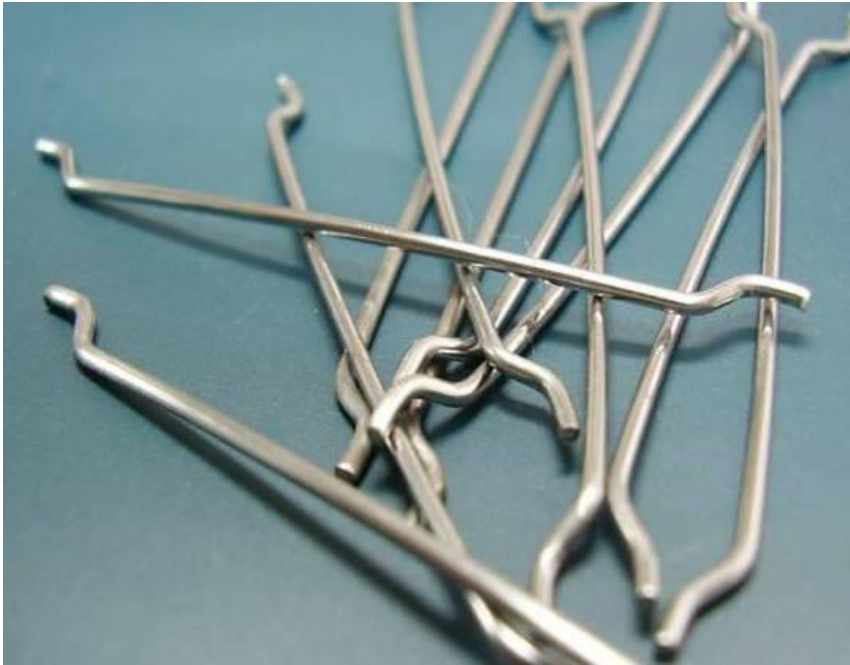


Steel Fiber



High potential to flocculate and forming concrete ball, requires proper steel fiber feeder machine to disperse the steel fiber

Steel Fiber Concrete



0.75 mm (D) diameter and length of 5 cm (L) L/D ratio = 67

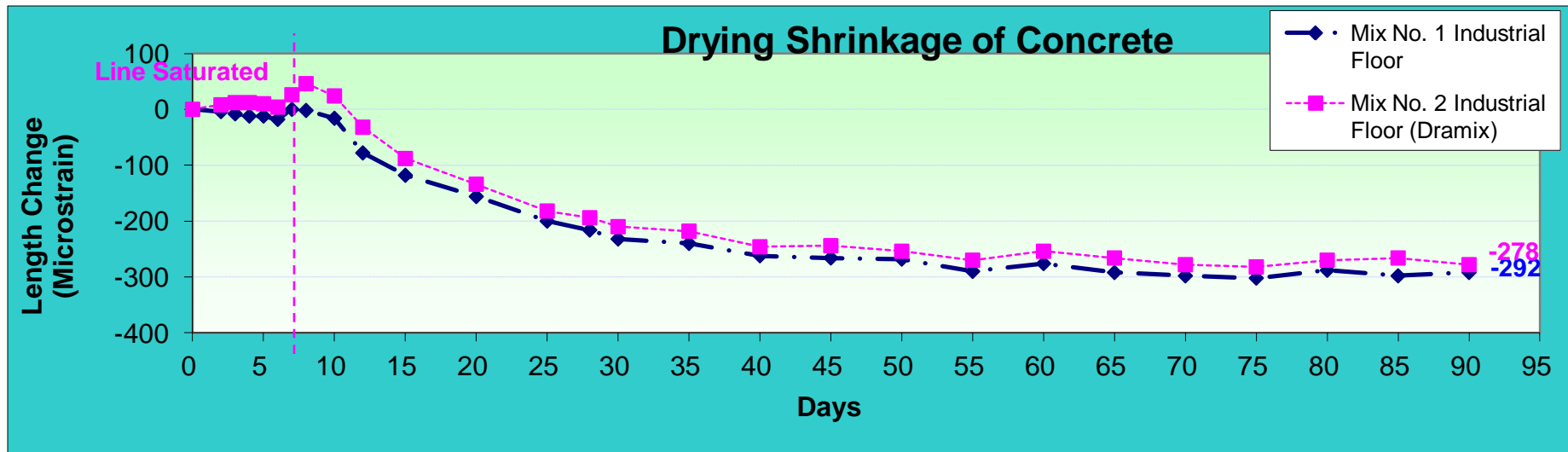
Steel Fiber Concrete



Normal concrete W/C 0.45:
Flexural strength **47 ksc**

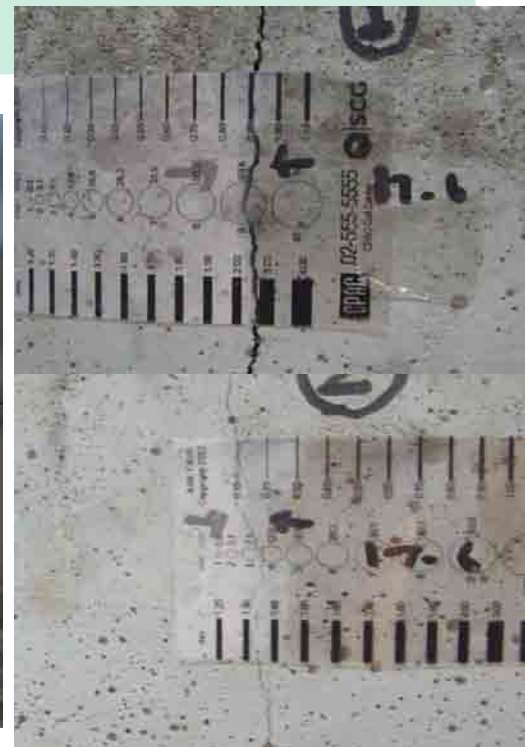


Steel Fiber Concrete W/C 0.45:
Flexural strength **54 ksc** (25 kg/m³)



Steel Fiber Concrete

Concrete	Shrinkage cracking age
Cement 400 kg/m ³ , Normal Concrete	14 days
Low Shrinkage Concrete	50 days
Steel Fiber Concrete + Low Shrinkage Concrete	> 90 days



No fiber

Fiber Concrete

Steel Fiber Concrete – Feeding Machine



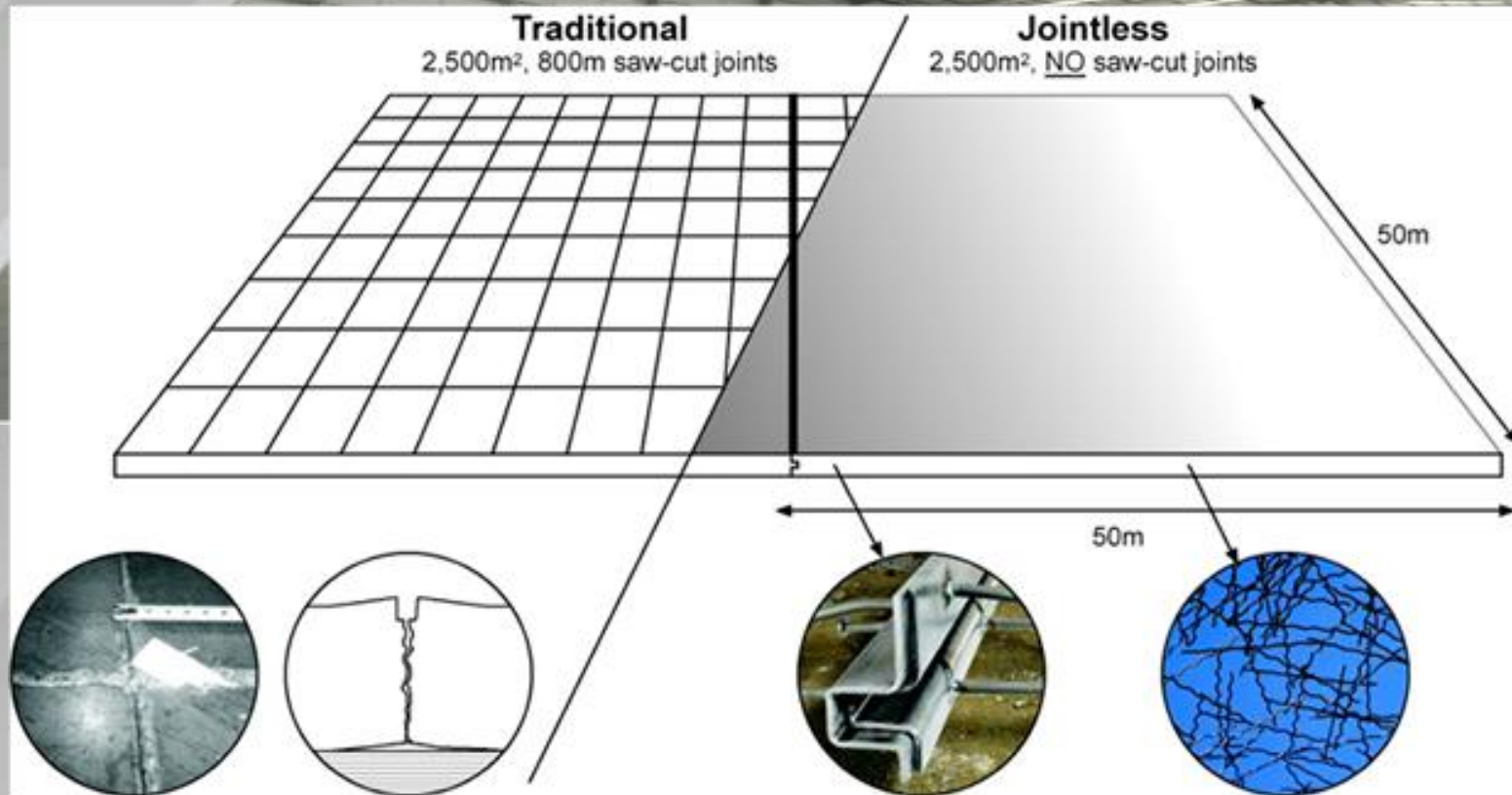
Guidance on the use of macro synthetic fibre reinforced concrete (2007) The Concrete Society



Macro Fiber สามารถใช้ลดความหนาของคอนกรีตงานผิวทางลงได้จนถึง 15-20 cm ขึ้นกับปริมาณที่ใช้ และสามารถเพิ่มระยะ Joint ให้ยาวขึ้นได้ถึง 30 เมตร โดยสามารถใส่ Macro Fiber เพิ่มจากเหล็กเสริมหรือทดแทนได้ 100% กำลังอัดคอนกรีตที่ใช้ทั่วไปอยู่ที่ 250 – 320 ksc (Cambridgeshire road)

Jointless Concrete

Low shrinkage/ Expansive Concrete + Fiber Concrete



การเสื่อมสภาพจากการขัดสี (Abrasion)

การขัดสีและแรงกระแทก

ใช้คอนกรีตกำลังอัดต่ำและมีปริมาณซีเมนต์ชั้นต่ำน้อยเกินไป



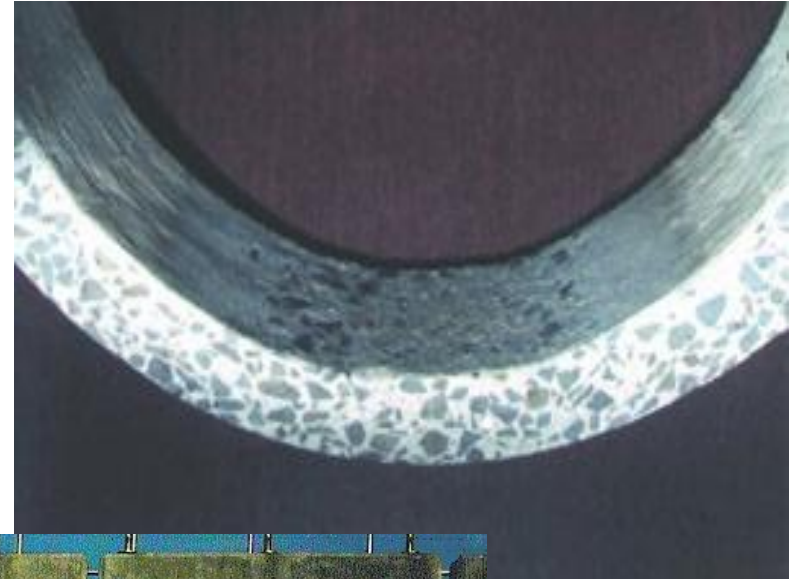
การขัดสีและแรงกระแทก

ใช้คอนกรีตกำลังอัดต่ำและมีปริมาณซีเมนต์ชั้นต่ำน้อยเกินไป



การขัดสีและแรงกระแทก

ใช้คอนกรีตกำลังอัดต่ำและมีปริมาณซีเมนต์ชั้นต่ำน้อยเกินไป





ความลึกจาก
การขัดสีไม่ควร
เกิน 0.60 mm

คอนกรีตที่เหมาะสมกับการต้านทานการขีดสีของล้อรถยนต์

- ควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์หรือวัสดุประสานไม่เกิน (W/B) 0.55
- ปริมาณเยิ้ม น้ำไม่ควรเกิน 3%
- ปริมาณปูนซีเมนต์หรือวัสดุประสานไม่ต่ำกว่า 320 kg/m³
- กำลังอัดขั้นต่ำ 280 ksc (ทรงกระบอก) ที่อายุ 28 วัน
- ในការป้องกันแรงกระแทกคอนกรีตต้องมีการเสริมกำลังด้วยเส้นใยต่างๆ เพื่อเพิ่มความเหนียวและ Toughness ของคอนกรีต เนื่องจากคอนกรีตเป็นวัสดุเปราะโดยธรรมชาติ (Brittle materials)